LATVIJAS
VALSTS CEĻI

Pētījums

Bituminēto segumu atjaunošana

Rīga, 2021

LATVIJAS VALSTS CEĻI

Pētījums	Bituminēto segumu atjaunošana
Izpildītājs	**SIA „Projekts 3”**
Juridiskā adrese	Ūdens iela 12-117, Rīga, LV – 1007
Reģistrācijas numurs	40003578510
Tālrunis	29472016
E-pasts	info@projekts3.lv
Darba vadītājs	Ilmārs Gorda
Pasūtītājs	**VSIA „Latvijas Valsts ceļi”**
Reģistrācijas numurs	40003344207
Juridiskā adrese	Gogoļa iela 3, Rīga, LV-1051
Līguma Nr.	LVC2021/1.8/AC/127
Stadija	Gala ziņojums
Partneri	**SIA „Vertex projekti"**
E-pasts	oskars@vertexprojekti.lv
E-pasts	izpildtia@inbox.lv

LATVIJAS VALSTS CEĻI

Darba kopsavilkums

Pētniecības projekta nosaukums: Bituminēto segumu atjaunošana		
Līguma numurs	LVC2021/1.8/AC/127	
Līguma slēgšanas datums	21.04.2021.	
Pētniecības projekta stadija	Nobeiguma ziņojums	
Starpziņojumu kopējais skaits	1	
Ziņojuma nodošanas datums	08.10.2021.	
Pētniecības projekta stadijas izstrādes periods	21.04.2021. – 08.10.2021.	
Lappušu skaits	201	
Pētniecības programma JAUNU TEHNOLOĢIJU IZPĒTES PROGRAMMA 2021. - 2023. GADAM		
Pētniecības projekta izpildītāji	Zinātniskais grāds, vārds, uzvārds	Paraksts
Pētniecības projekta vadītājs	Mg. Sc. Ing. Ilmārs Gorda	
Pētnieks	Mg. Sc. Ing. Oskars Koemecs	
Pētnieks	Mg. Sc. Ing. Reinis Kivliņš	
Projektu finansē	VSIA "Latvijas Valsts ceļi" / Satiksmes ministrija	
Īss apraksts Pētījumā sniegta literatūras analīze par autoceļu optimālām segumu stāvokļa saglabāšanas stratēģijām, kā arī autoceļu posmu apsekošanas, stāvokļa novērtēšanas un seguma atjaunošanas aprēķina metodēm. Izvērsti analizētas atšķirīgu reciklēšanas tehnoloģiju un ģeosintētisko materiālu izmantošanas iespējas un konstruktīvie risinājumi. Salīdzinātas atšķirīgas projektēšanas pieejas un būvniecības metodes – identificētas to priekšrocības un trūkumi. Analizēts pašmāju un ārzemju normatīvais regulējums un būvniecības prakse, fiksētas nepilnības un identificēti risinājumi to novēršanai. Pētījums sniedz teorētisko pamatojumu Seguma atjaunošanas Vadlīniju izstrādei, kā arī jau esošo LVC vadlīniju pilnveidei.		
Pielietojums / pētījuma sfēra	Ceļa segums. Ar saistvielām saistītas ceļa segas nesošās kārtas	
Papildus izstrādātie materiāli	Seguma atjaunošanas Vadlīnijas. Ceļu specifikāciju papildinājums.	

LATVIJAS VALSTS CEĻI

Satura rādītājs

Satura rādītājs 4
Kopsavilkums 6
Summary 7
Ievads 8
1. Ceļa dzīves cikls 17
1.1. Pārbūves cikls un optimāla saglabāšanas politika 17
1.2. Ceļa dzīves cikla fāzes un laicīga seguma atjaunošana 19
1.3. Optimālas saglabāšanas politikas piemērs 21
2. Ārvalstīs pielietotās metodikas 24
2.1. ASV pielietotās metodikas 24
2.1.2. AASHTO 1993 balstītā strukturālā iztrūkuma pieeja 29
2.1.3. Kalifornijas štata kombinētā pieeja 32
2.1.4. M-E nolietojuma bojājumu ierobežošanas pieeja 37
2.2. Britu Nāciju Sadraudzības valstīs pielietotās metodikas 40
2.2.1. Indija 40
2.2.2. Austrālija 44
2.3. Īrijā pielietotā metodika 46
2.4. FWD mērījumu korekcijas 54
2.4.1. Seguma temperatūras korekcija 55
2.4.2. Testa slodzes korekcija 56
2.5. Kopsavilkums 58
3. Ģeosintētiskie materiāli 60
3.1. Vispārīgi 60
3.2. Izstrādājumu galvenās funkcijas 66
3.3. Izmantošanas veidi ceļa segu konstrukcijās 69
3.4. Izstrādājumu galvenie tipi 71
3.4.1. 1. Tips – Seguma audums 71
3.4.2. 2. Tips – Zema profila ģeorežģi 71
3.4.3. 3. Tips – Augsta profila ģeorežģi 72
3.4.4. 4. Tips – Zema profila ģeokompozīti 73
3.4.5. 5. Tips – Augsta profila ģeokompozīti 74
3.4.6. Kopsavilkums 75
3.5. Ārvalstu normatīvā bāze 79
3.5.1. Vācija 79
3.5.2. Lielbritānija 87
3.5.3. Polija 95
3.6. Pētījumi un publikācijas 97
3.6.1. EOTA Tehniskais ziņojums TR041 97
3.6.2. Dažādu segumā izbūvētu ģeorežģu novērojums (Nīderlande) 101
3.6.3. Seguma pastiprināšana ģeokompozītu (Lielbritānija) 103
3.6.4. Plaisu attīstība segumā ar ģeokompozītu (Vācija) 107
3.6.5. Seguma pastiprināšana ar ģeokompozītu (Polija) 108
3.6.6. Asfalta pastiprināšana ar ģeosintētiku 117
3.6.7. Seguma pastiprināšana ar ģeorežģi (ASV, Francija) 120
3.6.8. Ģeorežģa segumā frēzēšana 124
3.6.9. Ģeokompozīta segumā frēzēšana un atkārtota izmantošana 125
3.6.10. Ģeokompozīta aprēķina piemērs 127

3.7. Izbūves un lietošanas pieredzes piemēri ... 135
3.7.1. Reģionālais autoceļš Nr. 222 (Polija) ... 135
3.7.2. Valsts autoceļš Nr. S3/A6 (Polija) ... 140
3.7.3. Autoceļi Stacijas ceļš / A41 Bakingemšīra (Lielbritānija) ... 142
3.7.4. Centralia lidosta (Kanāda) ... 146
3.7.5. 96. maģistrāle, ASV ... 148
3.7.6. I-93. maģistrāle, ASV ... 149
3.7.7. A38 Bristoles ceļš (Lielbritānija) ... 151
3.7.8. A41114 Abingdonas ceļš (Lielbritānija) ... 152
3.7.9. Diksonas ceļš (Lielbritānija) ... 153
3.7.10. 18. novembra iela Daugavpilī (Latvija) ... 154
3.7.11. Rīgas iela Alūksnē (Latvija) ... 157
3.8. Secinājumi ... 159
4. Reciklēšana ... 161
4.1. Vispārīgi ... 161
4.2. Ierobežojumi ... 162
4.3. Reciklēšanas veidi ... 164
4.3.2. BSM un CBTM īpašību salīdzinājums ... 167
4.3.3. Reciklēšana rūpnīcā (CCPR) ... 168
4.3.4. Reciklēšana objektā (CIR) ... 169
4.4. Saistvielas ... 172
4.4.1. Cements ... 172
4.4.2. Bitumens ... 175
4.5. Konstrukcijas ... 180
4.6. Ekspluatācijas pieredze ... 184
4.6.1. Igaunija ... 184
4.6.2. Lietuva ... 187
4.6.3. Latvija ... 189
Literatūras saraksts ... 196
Pielikumi ... 201

Kopsavilkums

Pētījumā sniegta literatūras analīze par autoceļu optimālām segumu stāvokļa saglabāšanas stratēģijām, kā arī autoceļu posmu apsekošanas, stāvokļa novērtēšanas un seguma atjaunošanas aprēķina metodēm. Izvērsti analizētas atšķirīgu reciklēšanas tehnoloģiju un ģeosintētisko materiālu izmantošanas iespējas un konstruktīvie risinājumi. Salīdzinātas atšķirīgas projektēšanas pieejas un būvniecības metodes – identificētas to priekšrocības un trūkumi. Analizēts pašmāju un ārzemju normatīvais regulējums un būvniecības prakse, fiksētas nepilnības un identificēti risinājumi to novēršanai.

Pētījums sniedz teorētisko pamatojumu Seguma atjaunošanas Vadlīniju izstrādei, kā arī jau esošo LVC vadlīniju pilnveidei. Autoceļu un ielu segumu atjaunošanas Vadlīnijas izdalītas atsevišķā dokumentā. Tajās iekļauta seguma atjaunošanas priekšizpētes un projektēšanas darbu metodika, kā arī atjaunojamo segumu tipveida konstrukcijas.

Pētījums, atbilstoši galvenajām tēmām, kopumā iedalīts četrās secīgās un savstarpēji saistītās nodaļās.

Pētījuma pielikumā sniegti Vadlīnijās ietverto tipveida konstrukciju kontrolaprēķini.

Papildus informācijas iegūšanai par kādu konkrētu tēmu izmantotās literatūras sarakstā sniegti visi izmantotās literatūras avoti ar saitēm uz atbilstošām interneta vietnēm, kur avots pieejams.

Summary

This research provides analysis of optimal pavement preservation strategies as well as pavement assessment and renewal design methods. Detailed analysis of various design solutions for geosynthetic materials and pavement cold recycling methods is given.

Different design and construction methods are compared, respective advantages and deficiencies identified. As a result of domestic and foreign legislation and construction practice analysis, multiple existing shortcomings were found and solutions to fix them given.

A separate compliance assessment of pavement cold recycling construction works definition with the current Latvian legislation is added.

This research gives theoretical background for the development of the new pavement renewal Guidelines and for the improvement of the existing ones. Road and street pavement renewal Guidelines themselves are given in a separate document. They consist of a methodology for pavement renewal feasibility studies and design methods as well as the catalogue of pavement renewal standard design solutions.

The research is divided into five consecutive and interconnected chapters.

Control calculations of the pavement renewal standard design solutions are given in the Annex of the research.

For the additional information about some distinct topic see references at the end of the document.

Ievads

Lai ierobežota finansējuma apstākļos nodrošinātu iespējami ilgstošu esoša ceļu tīkla kalpotspēju un apmierinošu vadītāju braukšanas komfortu, jāizstrādā un sistemātiski jāpielieto optimāla ceļu tīklā ietilpstošo autoceļu segumu saglabāšanas stratēģija. Tās stūrakmens ir savlaicīga, tehniski un ekonomiska pamatota autoceļu segumu atjaunošana.

Pētījuma mērķis ir sniegt šos segumu atjaunošanas risinājumus. Lai to sasniegtu, secīgi veikti sekojošie darbi:

1. sniegti optimālas segumu atjaunošanas politikas pamatprincipi un piemēri, kas sniedz ietvaru tālākai segumu apsekošanas un atjaunošanas plānošanai;
2. atspoguļots kopsavilkums par praksē sevi pierādījušām un progresīvām segumu apsekošanas un stāvokļa noteikšanas metodēm, kas var kalpot par pamatu Latvijā pielietojamai, vienotai segumu apsekošanas-atjaunošanas sistēmai;
3. analizētas atšķirīgas segumu atjaunošanas projektēšanas pieejas ar mērķi izstrādāt iespējami sabalansētu – ar ICP.CS savietojamu, pietiekami detalizētu, ērtu un praksē viegli pielietojamu – segumu atjaunošanas metodiku;
4. lai nodrošinātu iespējami ilgtspējīgus segumu saglabāšanas risinājumus, metodikas pamatā ir princips – atbilstoši ceļa noslodzei un seguma stāvoklim piedāvāt iespējami elastīgu, tehniski un ekonomiski pamatotu tipveida konstrukciju sistēmu. Metodikā iekļauto seguma atjaunošanas metožu (t.sk. reciklēšanas tehnoloģiju un ģeosintētisko materiālu pielietojuma) daudzveidība ir viens no šīs sistēmas stūrakmeņiem.
5. Lai nodrošinātu piedāvāto risinājumu atbilstību Latvijā esošo būvniecības normatīvo aktu prasībām, sniegts seguma atjaunošanas tehnoloģiju atbilstības izvērtējums.

Visu pētījumā iegūto atziņu un kontrolaprēķinu kopsumma ir piedāvātā segumu atjaunošanas metodika.

Apzīmējumi un saīsinājumi

AADT	No angļu val. – Annual average daily traffic	Gada vidējā diennakts satiksmes intensitāte (vidējais automašīnu skaits diennaktī).
$AADT_{j,\ kravas}$	No angļu val. – Annual average daily traffic uz joslu kravas transportam	Kravas transportlīdzekļu (ar masu virs 3,5 t) gada vidējā diennakts satiksmes intensitāte vienā joslā.
$AADT_{j,\ pievestā}$	No angļu val. – Annual average daily traffic uz joslu pievestā	Gada vidējā diennakts satiksmes intensitāte vienā joslā, aprēķinot pēc transporta līdzekļu ar radžotām riepām procentuālā daudzuma, ātruma ierobežojumiem, ceļa un joslas platuma, uzturēšanas metodes ziemā.
A/c	Autoceļš	Kompleksa inženierbūve ārpus pilsētas robežām, kas izmantojama transportlīdzekļu satiksmei ar noteikto ātrumu, normatīvos paredzētajām slodzēm un gabarītiem.
AASHTO	No angļu val. – American Association of State Highway and Transportation Officials	Bezpeļņas organizācija, kas pārstāv visu ASV štatu un teritoriju Transporta departamentus. Tās galvenais uzdevums – ASV sekmēt vienotas, integrētas nacionālās transporta sistēmas attīstību, darbību un uzturēšanu [31].
APWA	No angļu val. – American Public Works Association	Bezpeļņas organizācija, viena no Ziemeļamerikā vadošajām ceļu nozares sadarbības asociācijām, kas pārstāv nozares publisko un privāto darba devēju un ņēmēju intereses [55].
ASTM	No angļu val. – American Society for Testing and Materials	Starptautiska standartizācijas organizācija, kas izstrādā un publicē brīvprātīgi pielietojamus tehniskos standartus plašam klāstam materiālu, produktu, sistēmu un pakalpojumu, t.sk. ceļu būvmateriāliem un testēšanas metodēm [32].
BSM	No angļu val. – Bitumen stabilised material	Ar bitumenu stabilizēts ceļa segas materiāls. Minerālā pildviela tajā tiek stabilizēta ar bitumena emulsiju vai putu bitumenu [39].
CCPR	No angļu val. – Cold central plant recycling	Aukstā pārstrāde (reciklēšana) rūpnīcā
CIR	No angļu val. – Cold in-place recycling	Aukstā pārstrāde (reciklēšana) objektā.

CBTM	No angļu val. – Cement-Bitumen treated material	Ar cementu un bitumenu saistīts ceļa segas materiāls. Minerālā pildviela tajā tiek stabilizēta ar portlandcementu un bitumena emulsiju vai putu bitumenu.
CTM	No angļu val. – Cement treated material	Ar cementu saistīts materiāls. Esoša vai pievesta segas minerālā materiāla vai esošās grunts maisījums ar noteiktu portlandcementa un ūdens daudzumu. Tas sacietē, izveidojot stipru, izturīgu un salizturīgu ceļa segas kārtu [38].
CS (ABS)	Ceļu specifikācijas (Autoceļu būvniecības specifikācijas)	Latvijas Valsts vispārējā autoceļu tīklā veicamo darbu izpildes un kvalitātes prasības atbilstoši autoceļu noslogojumam. Sākot ar 2022. gada redakciju Ceļu specifikācijas plānots aizstāt ar Autoceļu būvniecības specifikācijām).
FWD	No angļu val. – Falling weight deflectometer	Krītošā svara deflektometrs – negraujoša ceļa segas testēšanas metode, kas simulē transporta slodžu iedarbību uz segu un mēra slodzes ietekmē radušos vertikālos segas pārvietojumus. Ar tā palīdzību iespējams tuvināti noteikt segas nestspēju.
FWD D1 FWD D0		Vertikālais pārvietojums krītošā svara deflektometra slogošanas plātnes centrā (μm). Vadlīnijās izmantots apzīmējums FWD D0.
GPR	Grunts penetrācijas radars	Kompleksa un modulāra ceļu apsekošanas sistēma, ar kuras palīdzību iespējams novērtēt ceļa tehnisko stāvokli – iegūt telpisku ceļa un tam pieguļošās teritorijas attēlu, ceļa seguma ģeometriju, izmērīt rišu dziļumu un konfigurāciju, saņemt informāciju par ceļa segu veidojošo konstruktīvo kārtu biezumu.
ICP.CS	Ieteikumi ceļu projektēšanai. Ceļa sega	Latvijā izstrādāta nestingās ceļa segas aprēķina metodika, kas lietojama projektējot jaunu ceļa segas konstrukciju vai tās daļu.
ITS	No angļu val. – Indirect Tensile Strength	Netiešā stiepes stiprība. Materiāla stiprības mērs, ko izmanto, lai laboratorijas pārbaudēs noteiktu ar saistvielām stabilizēta cilindriska materiāla parauga stiepes stiprību.
KrT	Kravas transportlīdzeklis	Transportlīdzeklis, kas pēc savas konstrukcijas paredzēts kravas vešanai pa ceļiem ar motora palīdzību vai bez motora.

KrT>3,5	Kravas transportlīdzeklis > 3,5 t	Transportlīdzeklis, kas pēc savas konstrukcijas paredzēts kravas vešanai pa ceļiem ar motora palīdzību vai bez motora un kura pilna masa pārsniedz 3,5 tonnas.
LCMS	No angļu val. – Laser Crack Measurement System	Uzņēmuma Pavemetrics izstrādāta, automatizēta sistēma, kura paredzēta saistīto ceļa segumu plaisu (un parasti arī citu virsmas defektu) uzmērīšanai. To veido vairākas augstas veiktspējas 3d lāzer-profilēšanas iekārtas.
LVC	Valsts sabiedrība ar ierobežotu atbildību „Latvijas Valsts ceļi"	Valsts autoceļu tīkla pārvaldītājs Latvijā. Valsts autoceļi un to zemes, tai skaitā ceļu zemes nodalījuma joslas, ar visām šo autoceļu kompleksā ietilpstošajām būvēm ir Latvijas Republikas īpašums, kas nodots valsts sabiedrības ar ierobežotu atbildību „Latvijas Valsts ceļi" pārziņā.
PCI	No angļu val. – Pavement Condition Index	Seguma stāvokļa indekss. Skaitlisks indekss no 0 līdz 100, ko lieto, lai noteiktu, kāda ceļu tīkla posma seguma stāvokli. Izmanto ASV.
PSCI	No angļu val. – Pavement Surface Condition Index	Seguma virsmas stāvokļa indekss. Skaitlisks indekss no 1 līdz 10, ko lieto, lai noteiktu, kāda ceļu tīkla posma seguma stāvokli. Izmanto Īrijā.
PMS un PAMS	No angļu val. – Pavement Management System No angļu val. – Pavement Asset Management System	Segumu pārvaldīšanas sistēma (arī – Segumu saglabāšanas un vadības sistēma). Rīks, kas nodrošina sistemātisku seguma stāvokļa datu apkopošanu, uzglabāšanu, analīzi un prognozēšanu, lai nodrošinātu optimālu lēmumu pieņemšanu par ceļu tīklam pieejamo resursu sadali [30].
PU	Projektēšanas uzdevums	Seguma atjaunošanas būvniecības ieceres dokumentācijas izstrādes uzsākšanai nepieciešamais, pasūtītāja sagatavots projektēšanas darbu veikšanas uzdevums, kur sniegti izejas dati un definētas veicamo darbu galvenās prasības (laiks, sasniedzamie rezultāti, izmantojamie resursi u.c.).
RAP	No angļu val. – Reclaimed Asphalt Pavement	Atgūts asfalta segums. Jēdzienu izmanto, lai apzīmētu nofrēzēto esošo asfaltbetona segumu, ko iespējams izmantot jaunu segas kārtu būvniecībā [43].
UCS	No angļu val. – Unconfirmed Compressive Strength vai Unconfined Compressive Strength	Neierobežotā spiedes stiprība. Materiāla stiprības mērs. Maksimālais spiedes ass spēks, ko (laboratorijas pārbaudē) noteikta izmēra, saistīta materiāla cilindrisks paraugs var izturēt.

=B	(starpslāņu) Barjera (atbilstoši LVS EN 15381:2019 paredzētā lietošana)	Funkcija, ko nodrošina seguma audumi, un kas kopā ar bitumena slāni darbojas kā barjera pret ūdens iekļūšanu un tādējādi novērš vai aizkavē segas bojāšanos [45].
=R	Stiegrojums (atbilstoši LVS EN 15381:2019 paredzētā lietošana)	Funkcija, ko nodrošina ar ģeotekstilu saistīts izstrādājums kombinācijā ar vai bez bitumena piesātināta seguma auduma (mērķtiecīgi izveidots kompozītmateriāls), kas, ja ir pareizi uzstādīts starp ceļa virsmu un jaunu asfalta pārklājkārtu, pieļauj vieglas diferenciālas kustības starp diviem slāņiem un tādējādi nodrošina stiepes spēku absorbēšanu, kas aizkavē vai aptur plaisu veidošanos asfalta pārklājkārtā un ilgāku faktiskā asfalta biezuma noturēšanu.
=STR	Atspriegošana (atbilstoši LVS EN 15381:2019 paredzētā lietošana)	Funkcija, ko nodrošina ar bitumenu piesātināts seguma audums (neausts vai mērķtiecīgi izveidots kompozītmateriāls), kas, ja ir pareizi uzstādīts starp ceļa virsmu un jaunu asfalta pārklājkārtu, pieļauj vieglas diferenciālas kustības starp diviem slāņiem un tādējādi nodrošina atspriegošanu, kas aizkavē vai aptur plaisu veidošanos asfalta pārklājkārtā [45].

Definīcijas

Atkāpes	Atkāpes no šī vai citu normatīvu, standartu u.tml. dokumentu prasībām. Būvprojektā visām atkāpēm ir jābūt norādītām un saskaņotām ar pasūtītāju.
Atjaunojamais ceļa posms	Ceļa posms, kurā paredzēts veikt tā ekspluatācijas īpašības koriģējošus būvdarbus viena līguma ietvaros. Atjaunojamā posma dažādās daļās var paredzēt dažādus būvdarbus, piemēram, gan seguma atjaunošanu, gan arī segas pastiprināšanu.
Raksturīgie ceļa posmi	Atjaunojamo ceļa posmu sadala raksturīgajos ceļa posmos. Tie ir ceļa posmi, kuros tiks lietota atšķirīga ceļa atjaunošanas tehnoloģija un atšķirīga ceļa seguma konstrukcija. Minimālais raksturīgā ceļa posma garums – 500 m.
Ceļa dzīves cikls	Laiks, kurā ceļa sega no jaunbūves līdz rekonstrukcijai slodzes un klimatisko apstākļu ietekmē nolietojas līdz tehniskam sabrukumam.
Ceļa klātne	Šķērsprofila sastāvdaļa starp ceļa šķautnēm. Tajā ietilpst brauktuve, malas josla, teknes lietus ūdens novades nodrošināšanai, nomales un sadalošās joslas (divbrauktuvju ceļiem).
Ceļa konstrukcija	Ceļa segas konstrukcija, zemes klātne un pamatne.
Ceļa sega	Ceļa konstrukcijas daļa virs zemes klātnes.
Ceļa segas pastiprināšana	Ceļa segas ar bituminētu segumu pārbūves veids, kur esošā ceļa sega daļēji tiek nojaukta, un uz atlikušās ceļa segas daļas tiek būvētas jaunas segas kārtas. Jaunās pamata kārtas pārsvarā satur reciklētus materiālus.
Ceļa segas saglabāšana	Pasākumu kopums, kas nepieļauj segas tālāku sabrukumu un pagarina tās darbspēju. Darbspējīgā segumu pārvaldīšanas sistēmā to ieteicams veikt segas kritiskās fāzes sākumā, kad segumu tehniski vēl ir iespējams atjaunot ar relatīvi zemām izmaksām (skat. nodaļu 1.2).
Ceļa segums	Ceļa segas augšējā daļa, kas balstīta uz pamata. Konstrukcija no vienas vai vairākām kārtām, lai sekmētu satiksmi teritorijā.
Ceļa seguma atjaunošana	Bituminēta ceļa seguma virskārtas ekspluatācijas īpašību atjaunošana, nemainot būves apjomu vai nesošo elementu nestspēju.
Ceļa seguma apakškārta	Vairākkārtu seguma apakšējā kārta, kas atrodas virs segas pamata nesošās virskārtas, kuras galvenais uzdevums ir uzņemt satiksmes izraisītās šķērsslodzes.

Ceļa seguma dilumkārta	Seguma augšējā kārta vai vienkārtas segums, tās galvenie uzdevumi ir nodrošināt atbilstošu saķeri, uzņemt satiksmes slodzes, pretoties nodilumam un aizsargāt pārējo segas konstrukciju.
Ceļa seguma izlīdzinošā kārta	Mainīga biezuma kārta, kuru lieto, lai esošajai kārtai vai virsmai nodrošinātu nepieciešamo profilu nākamo kārtu būvniecībai.
Ceļa seguma pārklājkārta	Atjaunojamajam segumam uzklājama, jauna bituminēta seguma augšējā papildkārta (vai kārtas). Pārklājkārtu (no angļu val. – Overlay) var izbūvēt, lai atjaunotu segas nestspēju, novērstu esošā seguma defektus vai uzlabotu tā ekspluatācijas īpašības [19].
Ceļa seguma ekspluatācija	Ceļa seguma izmantošana atbilstoši projektā paredzētajai transporta slodzei un lietošanas noteikumiem.
Ceļa seguma ekspluatācijas aprēķina periods	Laika periods sākot no [atjaunotā] seguma ekspluatācijas sākuma, kura laikā tiek paredzēta seguma ekspluatācijas īpašību un drošuma samazināšanās līdz noteiktajām, minimāli pieļaujamajām aprēķina vērtībām, ievērojot noteiktu uzturēšanas darbu izpildi (piem., ūdens novades sistēmas tīrīšana u.c.). Vadlīnijās definēts – 7 gadi.
Efektivitāte	Saprātīga resursu lietošana, sasniedzot iespējami labākos rezultātus ar ierobežotiem pieejamajiem resursiem. Izšķiešana un nesaprātīga tērēšana ir pretēja efektivitātei. Ceļu pārvaldīšanas jomā efektivitāti var aprakstīt kā tērēšanu, cik maz vien iespējams, lai paveiktu noteiktus, ceļu tīklam nepieciešamus uzdevumus.
Iesēdums	Ceļa seguma virsmas lokāls pazeminājums zem iedomātas projekta līnijas. Iesēdumu izraisa zemes klātnes deformācijas, kuru cēlonis var būt pazemināta zemes klātnes nestspēja vai nepietiekams tās sablīvējums būvniecības gaitā. Atkarībā no iesēduma skartās zonas, izšķir garenprofila iesēdumu (visā segas platumā), šķērsprofila iesēdumu (skar tikai daļu no segas platuma) un nomales iesēdumu (skar tikai ceļa nomali).
Iesēdumu remonts (Profila labošana)	Vienas vai vairāku mainīga biezuma kārtu (minimālo biezumu nenormē) uzbūvēšana uz esošās kārtas, lai izlīdzinātu profila deformācijas, kā arī lai nodrošinātu prasīto profilu nākamajām kārtām.
IRI	Starptautiskais līdzenuma indekss. Seguma virsmas garenvirziena līdzenuma rādītājs (izteikts m/km vai mm/m).
Plaisas un Plaisu tīkls	Segas sabrukuma pamatveids. Veidojas pie palielinātas slodzes, kas izsauc ievērojamu izliekumu pie nepietiekami stipras pamatnes. Ja radies plaisu tīkls, kas noklāj vairāk par 50% no seguma laukuma, nepieciešama segas pārbūve ar segas pamata slāņu nomaiņu.

Reciklēts asfalts	Asfalts, kas iegūts, frēzējot asfalta ceļa kārtas, drupinot plātnes, kuras izgrieztas no asfalta seguma, vai plātņu gabalus no asfalta plātnēm un ražošanas pārpalikumu asfaltu.
Rises	Ceļa seguma garenvirziena deformācijas riteņu sliedēs. Var izdalīt trīs rišu tipus. I tipa rises – plastiskās deformācijas seguma virskārtā, kuru cēlonis ir asfalta masas nespēja pretoties riteņu slodzēm; II tipa rises – plastiskās deformācijas segumā, kuru cēlonis ir ceļa segas nesaistīto kārtu nestspējas zudumi. III tipa rises – riepu radžu izraisīta seguma virskārtas nodiluma rises.
Strukturālie bojājumi	Ceļa segas bojājumi (tajā skaitā paliekošas plastiskās deformācijas vai noguruma plaisas, plaisu tīkls), kuri radušies ceļa segas nestspējas zuduma un, salīdzinot ar projektēto, palielinātas transporta slodzes iedarbībā.
Izstrādājums	Ģeotekstilizstrādājums vai ar ģeotekstilu saistīts izstrādājums [45].
Lipīgs pārklājums	Bitumena emulsija vai karsts bitumens, ko izmanto, lai fiksētu un/vai impregnētu kādu ģeotekstilizstrādājumu vai ar ģeotekstilu saistītu izstrādājumu starp apakšējo un augšējo pārklājkārtas slāni [45].
Plaisas un Plaisu tīkls	Segas sabrukuma pamatveids. Veidojas pie palielinātas slodzes, kas izsauc ievērojamu izliekumu pie nepietiekami stipras pamatnes. Ja radies plaisu tīkls, kas noklāj vairāk par 50% no seguma laukuma, nepieciešama segas pārbūve ar segas pamata slāņu nomaiņu.
Rises	Ceļa seguma garenvirziena deformācijas riteņu sliedēs. Var izdalīt trīs rišu tipus. I tipa rises – plastiskās deformācijas seguma virskārtā, kuru cēlonis ir asfalta masas nespēja pretoties riteņu slodzēm; II tipa rises – plastiskās deformācijas segumā, kuru cēlonis ir ceļa segas nesaistīto kārtu nestspējas zudumi. III tipa rises – riepu radžu izraisīta seguma virskārtas nodiluma rises.
Starpslāņu sistēma	Ģeotekstilizstrādājumi vai ar ģeotekstilu saistīti izstrādājumi, kas savienoti starp diviem slāņiem [45].
Strukturālie bojājumi	Ceļa segas bojājumi (tajā skaitā paliekošas plastiskās deformācijas vai noguruma plaisas, plaisu tīkls), kuri radušies ceļa segas nestspējas zuduma un, salīdzinot ar projektēto, palielinātas transporta slodzes iedarbībā.
Strukturālie bojājumi (Būtiski)	Strukturāli bojājumi, kas liecina par būtisku ceļa segas nestspējas zudumu. Tie ir: 1)plaisu tīkls ar augstu seguma bojājuma pakāpi (>50%); 2)iesēdumi, segas lūzumi un uzbēruma noslīdējumi, kas garāki par 50 m un dziļāki par 20 cm; 3) būtiskas šķērsprofila deformācijas (šķērskritums <1% vai >4% (virāžās >7%)). Ja apsekojuma laikā konstatētas ceļa uzbēruma noturības problēmas (piem., ceļa uzbēruma izslīdēšana, blakus ceļa grunts izspiešana, ceļa uzbēruma sēšanās u.c.) neatkarīgi no šādu defektu garuma un dziļuma, par tiem jāinformē Pasūtītājs. To labošana neietilpst Vadlīniju tvērumā. Minēto defektu

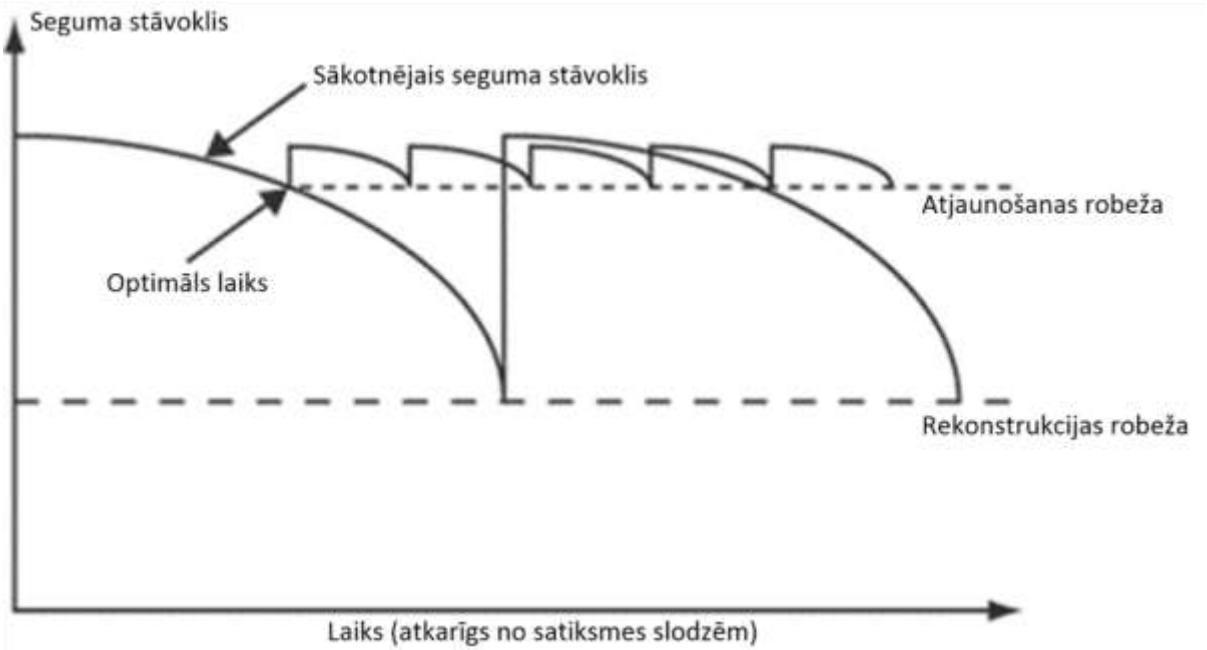
	atklāšanas gadījumā, lai tos novērstu, nepieciešama individuāla būvprojekta izstrāde.
Summārais ceļu īpašums	Visa īpašumā esošā vai pārvaldāmā ceļu infrastruktūra, no kuras paredzēta labumu gūšana pašreizējai un nākamajām paaudzēm. Ceļu īpašuma vērtību var aprēķināt naudas izteiksmē.
Ūdens novade (Neapmierinoša)	Situācija, kad konstatēti ūdens novades sistēmas defekti, kas samazina ceļa konstrukcijas nestspēju. Tie var būt par cēloni ceļa segas deformācijām. Par neapmierinošu ūdens novades sistēmu liecina sekojoši defekti – ūdens no nomalēm netiek novadīts sāngrāvjos; grāvji sekli <0,5 m, vai to nav; grāvjos redzamas ilgstoši stāvoša ūdens pazīmes; grāvjos ir nosprostojumi, arī aizsērējušas caurtekas; ceļa segā konstatēti strukturāli bojājumi; blakus uzbērumam ir pārmitrinātas vietas ar pastāvīgi stāvošu ūdeni.
Ūdens novades risinājumi (Papildus)	Valsts autoceļa atjaunošanas izpratnē – ūdens novadīšanas sistēmas un zemes klātnes atjaunošana, nemainot esošās būves sākotnējo apjomu vai nesošo elementu nestspēju.

1. Ceļa dzīves cikls

1.1. Pārbūves cikls un optimāla saglabāšanas politika

20. gadsimts pelnīti tiek dēvēts par Automobilizācijas gadsimtu – 20. gs. pirmo pusi attīstītajās valstīs raksturo pirmo maģistrālo asfaltbetona seguma autoceļu būvniecība un ar to saistītā būvniecības tehnikas attīstība – ceļu būve pārtapa no darbietilpīgas nozares par kapitālietilpīgu nozari – ceļu nozarē notika strauja industrializācija, tika izstrādātas principiāli jaunas ceļu būves un uzturēšanas tehnoloģijas [15].

20. gs. 60-ajos gados pasaulē un arī Latvijā izveidojās mūsdienās plaši pazīstamais ceļu uzturēšanas modelis, kas balstās uz ceļu pārbūves (rekonstrukcijas) ciklu. Tika definēts uzturēšanas darbu komplekss – ikdienas uzturēšana, kārtējais, vidējais remonts un pārbūve – šajā laikā tika strikti definēti segas uzturēšanas posmi un tiem bija periodisks/ciklisks raksturs (skatīt 1-1.1. attēlu).



1-1.1. attēls. Segs pārbūves cikla un saglabāšanas tipa pasākumu salīdzinājums [17]

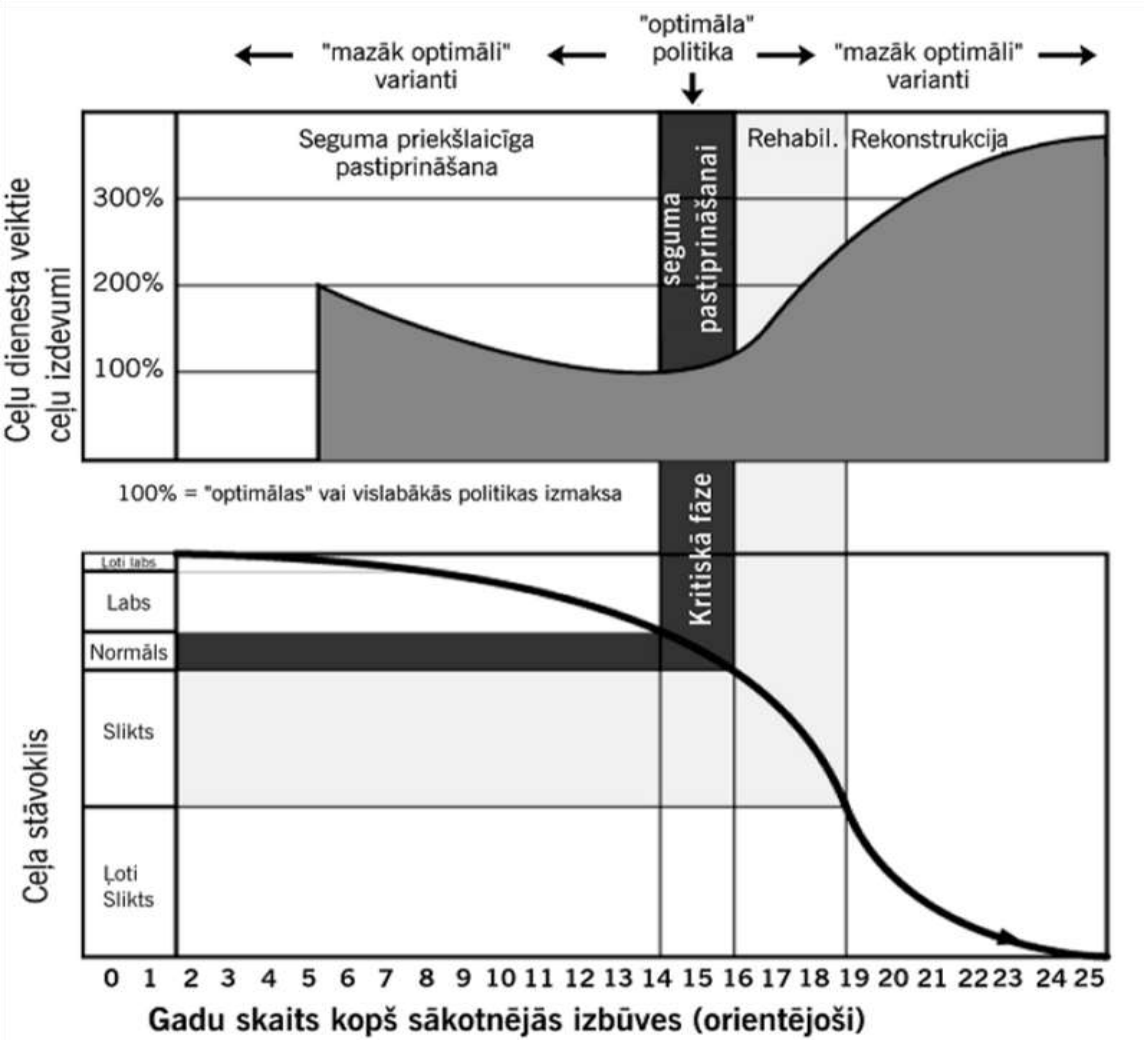
Arī Latvijā sešdesmitie gadi bija liels būvdarbu laiks. Atsevišķos gados no jauna tika uzbūvēts līdz pat 220 km melno seguma un 600 km grants seguma ceļu. Sākot ar 1957. gadu, uzbūvēja 23 asfaltbetona rūpnīcas. Paralēli to darbam turpinājās melno segumu būve, samaisot materiālus uz vietas. Šie, t. s. "melnie maisījumi" daudzās vietās 3 - 5 reizes pārsnieguši paredzēto kalpošanas laiku un kalpo vēl mūsdienās [18].

21. gadsimtā, kad valstu ekonomiskā attīstība (t. sk. pārvadājumu apjomi) ir vairāk vai mazāk nostabilizējusies, jaunu ceļu būvniecība industriāli attīstītajās valstīs vairs nav aktuāla.

Galvenā vērība tiek pievērsta esošā autoceļu tīkla racionālai uzturēšanai un, ja nepieciešams – pārbūvei [16].

Tā kā segas uzturēšanas izmaksas ir vidēji līdz četrām reizēm mazākas par jauna ceļa posma izbūves izmaksām, mūsdienās ceļu uzturēšanas efektīvai sistēmai ir noteikta specifika – atšķirība no iepriekšējā gadsimta ceļu un ielu uzturēšanas sistēmas. Par optimālu ceļu uzturēšanas politiku tiek uzskatīts saglabāšanas tipa pasākumu komplekss (skatīt 1-1.2. attēlu).

Tā ietvaros attīstītajās valstīs ar blīvu ceļu un ielu tīklu (pie kurām noteikti pieskaitāma Latvija) nacionālās ceļu administrācijas galveno uzsvaru liek uz autoceļu segumu atjaunošanas pasākumiem (attēlā 1-1.2. redzama rekomendētā segumu atjaunošanas optimālā politika [16]). Pētījumā par bituminēto segumu atjaunošanas metodiku šim aspektam tiks pievērsta noteikta uzmanība.



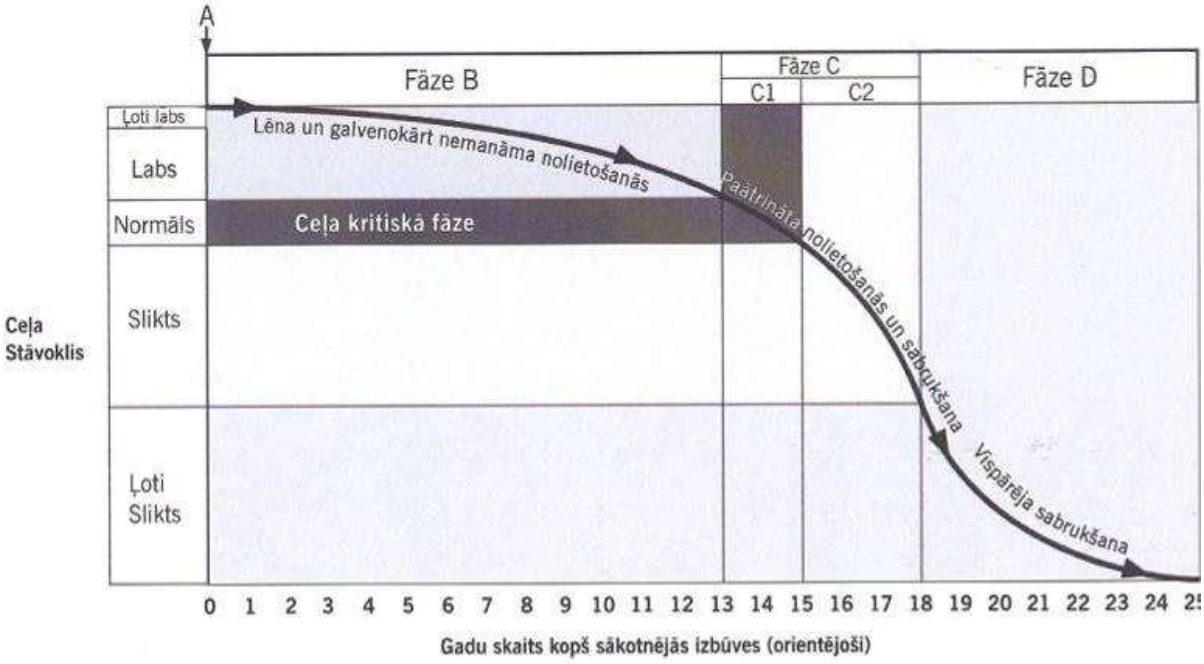
1-1.2. attēls. A/c segumu uzturēšanas politikas ietekme uz ielu tīkla uzturētāja izdevumiem [16]

Segas pārbūves darbi tiek veikti, kad tās stāvoklis ir slikts vai ļoti slikts. Segu uzturēšanas ilgtermiņa izmaksas, pielietojot „pārbūves cikla" politiku, atkarībā no darbu apjoma ir aptuveni 2,5 – 4 reizes augstākas, nekā optimālas saglabāšanas politikas gadījumā, veicot savlaicīgu segumu atjaunošanu.

Ja segumu atjaunošanas vai segas pastiprināšanas pasākumus veiks ātrāk – būs neefektīva līdzekļu izlietošana, ja vēlāk – a/c sega var sākt sabrukt, un tās atjaunošana izmaksās dārgāk. Ieteicams labāk segumu saglabāšanas pasākumus veikt priekšlaicīgi, nekā tos atlikt. Aizkavējuma izraisītās ļoti augstās izmaksas rodas segas pamata sabrukšanas dēļ, kad palaista garām kritiskā fāze.

1.2. Ceļa dzīves cikla fāzes un laicīga seguma atjaunošana

Ceļa segas dzīves cikla jeb kalpošanas laika fāzes atbilstoši ANO un Pasaules bankas rekomendācijām dotas 1-2.1. attēlā [16].



1-2.1. attēls. Ceļa (segas) dzīves cikla fāžu vispārējs attēlojums [16]

Fāze A – izbūve. Sākotnējās izbūves rezultāti var būt atšķirīgi – diapazonā no teicamiem (ar nelielām kļūmēm vai bez tām) līdz gadījumam, kad visa izbūve balstīta uz nepiemērotu projektu vai paviršu tā izpildi. Jebkurā gadījumā – ceļi tūlīt pēc to pabeigšanas tiek nodoti lietošanā. Lentītes pārgriešanas ceremonijas dienā tie parasti ir lieliskā stāvoklī un pilnībā apmierina lietotāju prasības un gaidas.

Fāze B – lēna un galvenokārt nemanāma nolietošanās. Vairāku gadu garumā ceļš tiek pakļauts diezgan lēnas nolietošanās un vājināšanās procesam, galvenokārt tā segumā, bet mazākā mērā arī citos konstruktīvajos slāņos zem seguma. Šo nolietošanos izraisa liels

skaits smago un vieglo transportlīdzekļu, kuri šo ceļu lieto, bet ietekmi atstāj arī tādi faktori kā klimats, lietus vai ūdens uz tā virsmas vai pamatnē, saules radiācija, oksidēšanās, temperatūras izmaiņas un citi faktori. Nolietošanās ātrums atkarīgs arī no sākotnējās materiālu izvēles un izbūves kvalitātes. Šajā fāzē nepārtraukti jāveic profilaktiskie uzturēšanas pasākumi. Fāzes B laikā ceļš saglabājas acīmredzami labā stāvoklī, un vairums lietotāju nemana seguma vājināšanās procesu. Neraugoties uz nelielu bojājumu pakāpenisku pieaugumu, ceļš joprojām nodrošina labu braukšanas komfortu un drošību.

Fāze C – ceļa kritiskā fāze. Pēc dažu gadu lietošanas segums un citas ceļa sastāvdaļas aizvien vairāk "nogurst", un ceļa nolietošanās process strauji paātrinās. Ceļa konstrukcija pakāpeniski zaudē spēju uzņemt satiksmes slodzi. Šīs fāzes sākumā ceļa konstrukcijas pamats joprojām ir nebojāts, dilumkārtas bojājumi ir relatīvi nenozīmīgi, un parastiem lietotājiem var rasties iespaids, ka ceļš vēl ir gluži stingrs un nebojāts (sektors C1). Lai, cik vien iespējams, mazinātu nolietošanās un vājināšanās procesu, kritiskajā C1 fāzē (skatīt 1-2.1. attēlu) ir jāveic dažāda veida saglabāšanas pasākumi, galvenokārt segumam un ūdens novades sistēmai. Nedaudz tālāk fāzē C virsmas redzamie bojājumi kļūst daudz nepārprotamāki, un arī pamats zem ceļa seguma sāk bojāties.

Citiem vārdiem, kad segumā parādās nozīmīgākas bedrītes un kļūst redzamas virsmas deformācijas, ir skaidrs, ka ceļa pamats arī ir bojāts. Bojājumi sākas atsevišķās vietās un ātri izplatās, līdz to ietekme jūtama lielos ceļa posmos (sektors C2). Fāze C ir relatīvi īsa – parasti tikai divi vai trīs gadi. Tiklīdz acīmredzami kļūst virspusēji bojājumi, sabrukšana sākas straujā tempā.

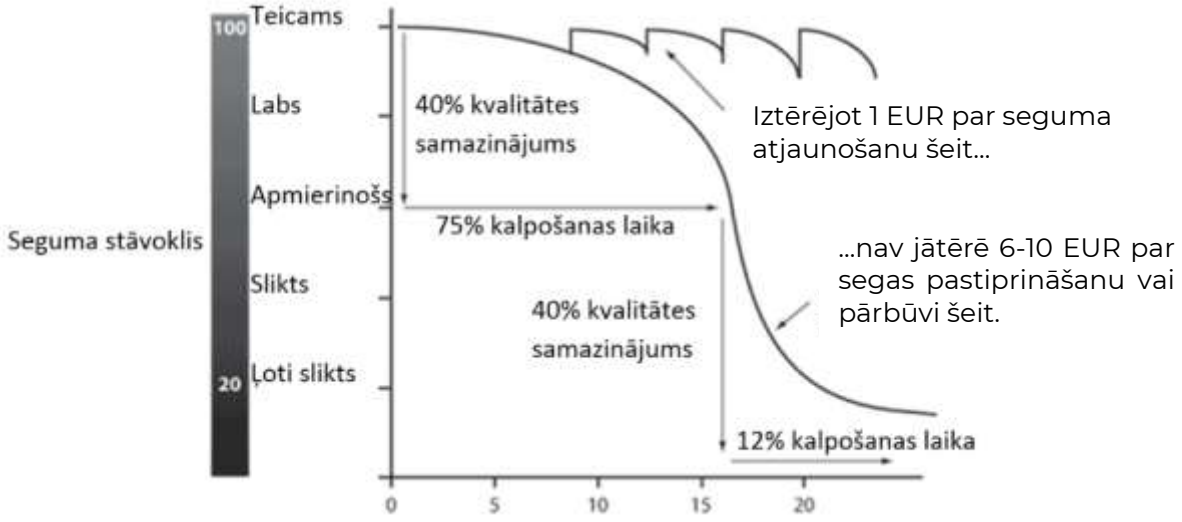
Fāze D – vispārēja sabrukšana. Ceļa vispārēja sabrukšana ir tā pastāvēšanas beigu stadija, un tā var ilgt vēl vairākus gadus. Šīs stadijas pirmā pazīme ir seguma izzušana. Ikreiz, kad pāri pārbrauc kravas transportlīdzeklis, atlūzt asfalta kārtas gabali, līdz segums ir izzudis. Automaģistrāle teorētiski beidz savu pastāvēšanu kā grantēts ceļš un, ja to lieto ilgi, – kā zemesceļš. Ceļa lietošana kļūst arvien grūtāka un grūtāka, transportlīdzekļu vidējais braukšanas ātrums strauji krīt, un ceļa caurlaidspēja samazinās līdz tikai nelielai daļai no sākotnējās. Transportlīdzekļiem pastiprinās riepu, asu, piekares un šasijas bojājumi. Kopumā ievērojami pieaug transportlīdzekļu ekspluatācijas izmaksas un nopietnu satiksmes negadījumu skaits. Nolietošanās līknes beigu daļā parasti automobiļi vairs pa ceļu nevar pārvietoties, un to lieto tikai dažas kravas automašīnas un transportlīdzekļi ar pilnpiedziņu.

Darbspējīgā segumu pārvaldīšanas sistēmā ceļa segums jāatjauno fāzes C sākumā (sektors C1 attēlā), kad segas stāvoklis kļūst kritisks.

Seguma atjaunošana vai (robežgadījumā) segas pastiprināšana ir paredzēta:

- straujas nolietošanās vājināšanās procesa apturēšanai;
- lai pilnībā pasargātu joprojām nebojāto esošo pamatu;
- lai garantētu ceļa kalpotspēju vēl kādā noteiktā laika posmā.

Fāzes C sākumā (skatiet attēla sektoru C1) pietiekami ir atjaunot segumu par relatīvi zemām izmaksām. A/c ar bituminēto segumu parasti atjauno, uzklājot jauna asfaltbetona pārklājkārtu četru līdz astoņu centimetru biezumā ar izmaksām, kas sastāda aptuveni 5% no sākotnējās izbūves izmaksām. Fāzes C beigās un beigu fāzes (D) sākumā vienīgais risinājums ir ceļa pilnīga pārbūve par izmaksām, kuru apjoms varētu būt starp 50% un 80% no pilnīgi jauna ceļa būvdarbu izmaksas.

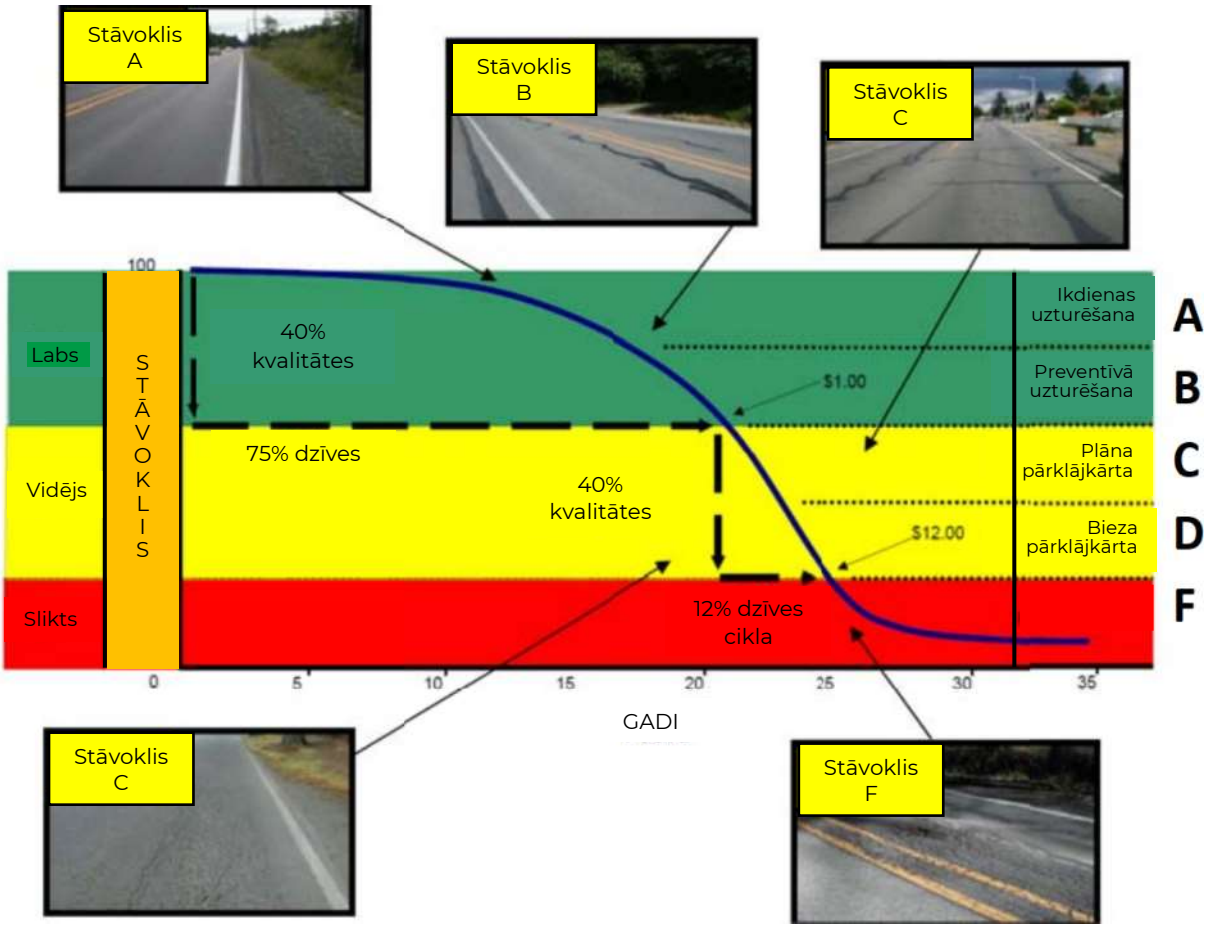


1-2.2. attēls. Seguma atjaunošanas un pārbūves izdevumu salīdzinājums [17]

1.3. Optimālas saglabāšanas politikas piemērs

Optimāla saglabāšanas politika nosaka zemākās ceļa dzīves cikla izmaksas. To plaši pielieto ASV visu līmeņu ceļu pārvaldīšanas un uzturēšanas aģentūras (turpmāk tekstā – Aģentūras). Zemāk dots piemērs no ASV Federālās lielceļu administrācijas (FHWA) pārskata par efektīvu ceļu uzturēšanu [20].

Saskaņā ar to optimāli uzturēta ceļu tīkla summārai īpašuma vērtībai jābūt 75-80% robežās no maksimāli iespējamās. Optimāli uzturētā ceļu tīklā pieļaujami vidēji 5% ceļu sliktā stāvoklī, 25% ceļu apmierinošā stāvoklī un 70% ceļu – labā un teicamā stāvoklī. Lai to nodrošinātu, piedāvāta segumu pārvaldīšanas sistēma. Saskaņā ar to ceļa seguma stāvoklis iedalīts grupās no A (labākais) līdz F (sliktākais). Katram stāvoklim paredzēti atbilstoši ceļa saglabāšanas darbi (skat. att. zemāk).



1-3.1. attēls. Seguma stāvokļa un nepieciešamo saglabāšanas darbu kopsavilkuma tabula[20]

Atkarībā no ceļa kategorijas sastādītas optimāla ceļa dzīves cikla kopsavilkuma tabulas, kurās doti ceļu tīklā veicamie darbi un to cikliskums (skat. tab. zemāk).

1-3.1. tabula. Ceļu tīklā veicamie darbi un to cikliskums [20]

Ārpilsētas autoceļa dzīves cikls – LLC (gadi)		
AUTOCEĻU TIPI		
Ārpilsētas maģistrālais LLC=18	Ārpilsētas, reģionālas nozīmes LLC=20	Ārpilsētas, vietējas nozīmes LLC=12
VEICAMIE DARBI		
1. GADS – karstā asfalta pārklājkārta	1. GADS – vienkārtas virsmas apstrāde	1. GADS – vienkārtas virsmas apstrāde
14. GADS – vienkārtas virsmas apstrāde	6. GADS – vienkārtas virsmas apstrāde (jauns cikls)	8. GADS – vienkārtas virsmas apstrāde (jauns cikls)
20. GADS – karstā asfalta pārklājkārta (jauns cikls)	N/D	N/D

Atbilstoši šai pārvaldīšanas sistēmai, saglabājot segumus C stāvokļa sākumā (kritiskajā fāzē), stipri un vidēji noslogotu ārpilsētas ceļu segumi jāatjauno vienreiz 6 gados, bet maz noslogotu ārpilsētas ceļu segumi – vienreiz 8 gados. Pie cikliskas, atkārtotas šo darbu veikšanas katrā nākamajā atjaunošanas ciklā rekomendētais atjaunošanas darbu veids ir vienkārtas virsmas apstrāde [20]. Tādējādi tiek nodrošināta izmaksu ziņā efektīvākā ceļu tīkla uzturēšanas prakse.

Jāatzīmē, ka ļoti līdzīgs segumu saglabāšanas modelis rekomendēts arī LVC stratēģijas daļas (atbilstoši L. Bergera pētījumam) izstrādātajā informācijā stratēģiskās plānošanas vajadzībām, kas aktualizēta 2020. gadā (skat. att. zemāk) [29].

1-3.2. attēls. Normatīvais autoceļu ar melno segumu saglabāšanas cikls [29]

Atbilstoši rekomendētajam modelim autoceļiem ar AADT<3000 trl/dnn seguma atjaunošanas darbi plānojami ik pēc 7 gadiem.

Šajā nodaļā atainotā ceļu uzturēšanas un saglabāšanas prakse (seguma stāvokļu dalījums, seguma ekspluatācijas aprēķina periods, veicamo darbu apjoms u.c.) uzskatāma par optimālas prakses piemēru. Tā piedāvāta par atskaites punktu pēc LVC pasūtījuma izstrādāto Autoceļu un ielu segumu atjaunošanas vadlīniju (turpmāk tekstā – Vadlīniju) pamatnostādnēm.

Vadlīnijās definētais seguma ekspluatācijas aprēķina periods – 7 gadi – atbilst optimālai praksei. Tas paredzēts, lai nodrošinātu seguma atjaunošanu kritiskajā fāzē. Palielinot seguma atjaunošanas intervālu, būtiski pieaug risks, kad ceļa segā strauji attīstīsies bojājumi, kurus vairs nevarēs likvidēt ar atjaunošanas metodēm. Ņemot vērā, ka kritiskās fāzes ilgums ir neliels, pasūtītājam ir rūpīgi jāizvērtē ar atjaunošanas darbu atlikšanu saistītie finansiālie riski.

Turpmāk pētījumā izlases kārtībā sniegts atšķirīgu pasaules valstu populārāko segumu novērtējuma un atjaunošanas metodiku kopsavilkums.

2. Ārvalstīs pielietotās metodikas

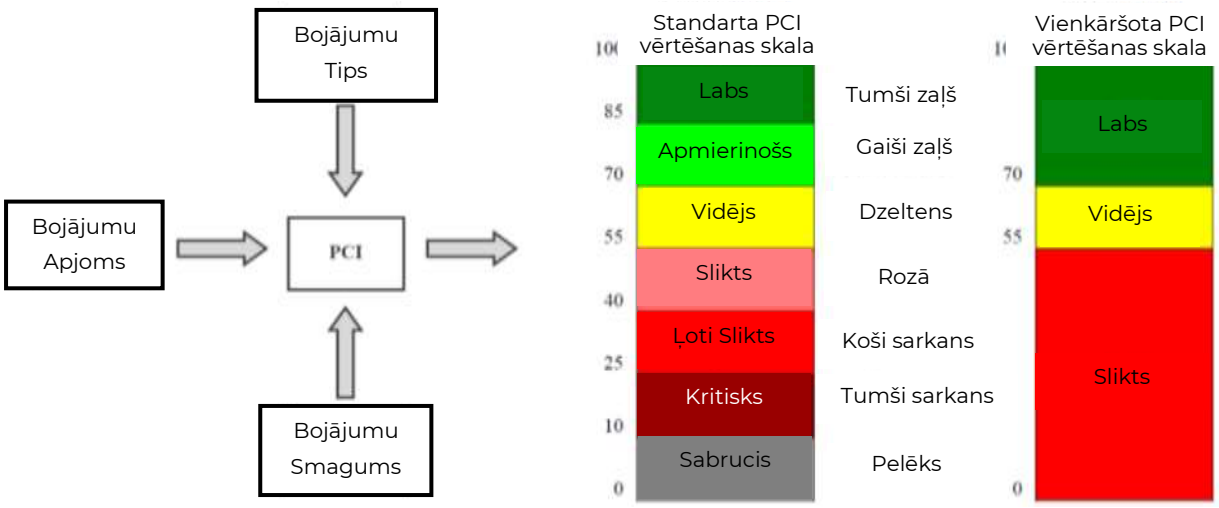
2.1. ASV pielietotās metodikas

ASV normatīvi neregulē vienu, universālu seguma novērtējuma un atjaunošanas metodiku. Seguma apsekošanas, novērtēšanas un atjaunošanas vadlīnijas pārsvarā izstrādā un pielieto reģionālā līmenī – katra ASV štata Aģentūra.

Seguma apsekošanas un novērtēšanas metodikas

ASV visa veida ceļu segumu (autoceļiem, ielām, laukumiem, lidlauku skrejceļiem u.c.) stāvokli nosaka izmantojot Seguma Stāvokļa Indeksu (PCI – no angļu val. – Pavement Condition Index). Šo metodiku vēsturiski izstrādāja ASV Armijas Inženieru Korpuss, bet adaptēja vadošā ASV standartizācijas organizācija (ASTM – standarts ASTM D6433) un nozares asociācija (APWA). Tā ir starptautiski atzīta un tiek uzskatīta par nozares „Zelta standartu" [20].

PCI metodoloģija ir vērtēšanas sistēma, kas 100 ballu skalā mēra seguma ekspluatācijas īpašības. PCI noteikšanas vispārējais algoritms un seguma stāvokļi doti attēlā zemāk.



2-1.1. attēls. PCI robežvērtības un ievadāmie dati [21]

Saskaņā ar PCI metodiku, lai noteiktu seguma stāvokli, veic šādus, secīgus darbus:

- Ceļu tīklu sadala raksturīgajos posmos (posmos ar līdzīgu seguma vēsturi un satiksmes noslodzi);

- Katrā posmā izlases kārtībā izvēlas reprezentatīvu skaitu testa laukumu – testa laukums ir neliels konkrēta izmēra (asfaltbetona segumiem ~230m^2) seguma fragments;
- Katru testa laukumu ar standartizētu testu palīdzību detāli izpēta – nosaka seguma bojājumu tipu, apjomu un smaguma pakāpi;

Asfaltbetona segumiem ir 20 atšķirīgi bojājumu veidi. Katram no tiem ir 3 smaguma pakāpes (augsta vidēja, zema – atbilstoši ASTM 2009).

- Katram bojājuma veidam nosaka skaitlisko vērtību – katrai bojājuma tipa, apjoma un smaguma pakāpes kombinācijai ir definēta konkrēta skaitliska vērtība. Smagākām bojājumu kombinācijām piešķirtas lielākas skaitliskās vērtības;
- Visu bojājumu veidu skaitliskās vērtības saskaita kopā;
- Iegūto summāro vērtību piekoriģē atbilstoši noteikto bojājumu veidu skaitam;
- Lai iegūtu testa laukuma PCI, no 100 atņem summāro bojājumu skaitlisko vērtību;
- Raksturīgā ceļa posma PCI nosaka kā vidējo svērto vērtību no visu testa laukumu PCI vērtībām (PCI uzskaites formu skat. att. zemāk).

Section: _____ Date: _____

Log mile: _____ to_____ **FLEXIBLE** Rated by: _____

Sta: _____ to_____ _____

PAVEMENT CONDITION RATING FORM

DISTRESS	DISTRESS WEIGHT	SEVERITY WT.*			EXTENT WT.**			DEDUCT POINTS***
		L	M	H	O	F	E	
RAVELING	10	0.3	0.6	1	0.5	0.8	1	
BLEEDING	5	0.8	0.8	1	0.6	0.9	1	
PATCHING	5	0.3	0.6	1	0.6	0.8	1	
POTHOLES/DEBONDING	10	0.4	0.7	1	0.5	0.8	1 ✓	
CRACK SEALING DEFICIENCY	5	1	1	1	0.5	0.8	1	
RUTTING	10	0.3	0.7	1	0.6	0.8	1 ✓	
SETTLEMENT	10	0.5	0.7	1	0.5	0.8	1	
CORRUGATIONS	5	0.4	0.8	1	0.5	0.8	1	
WHEEL TRACK CRACKING	15	0.4	0.7	1	0.5	0.7	1 ✓	
BLOCK AND TRANSVERSE CRACKING	10	0.4	0.7	1	0.5	0.7	1 ✓	
LONGITUDINAL JOINT CRACKING	5	0.4	0.7	1	0.5	0.7	1	
EDGE CRACKING	5	0.4	0.7	1	0.5	0.7	1	
RANDOM CRACKING	5	0.4	0.7	1	0.5	0.7	1 ✓	

*L = LOW **O = OCCASIONAL TOTAL DEDUCT =

M = MEDIUM F = FREQUENT SUM OF STRUCTURAL DEDUCT (✓) =

H = HIGH E = EXTENSIVE **100 - TOTAL DEDUCT = PCR =**

*** DEDUCT POINTS = DISTRESS WEIGHT X SEVERITY WT. X EXTENT WT.

REMARKS:

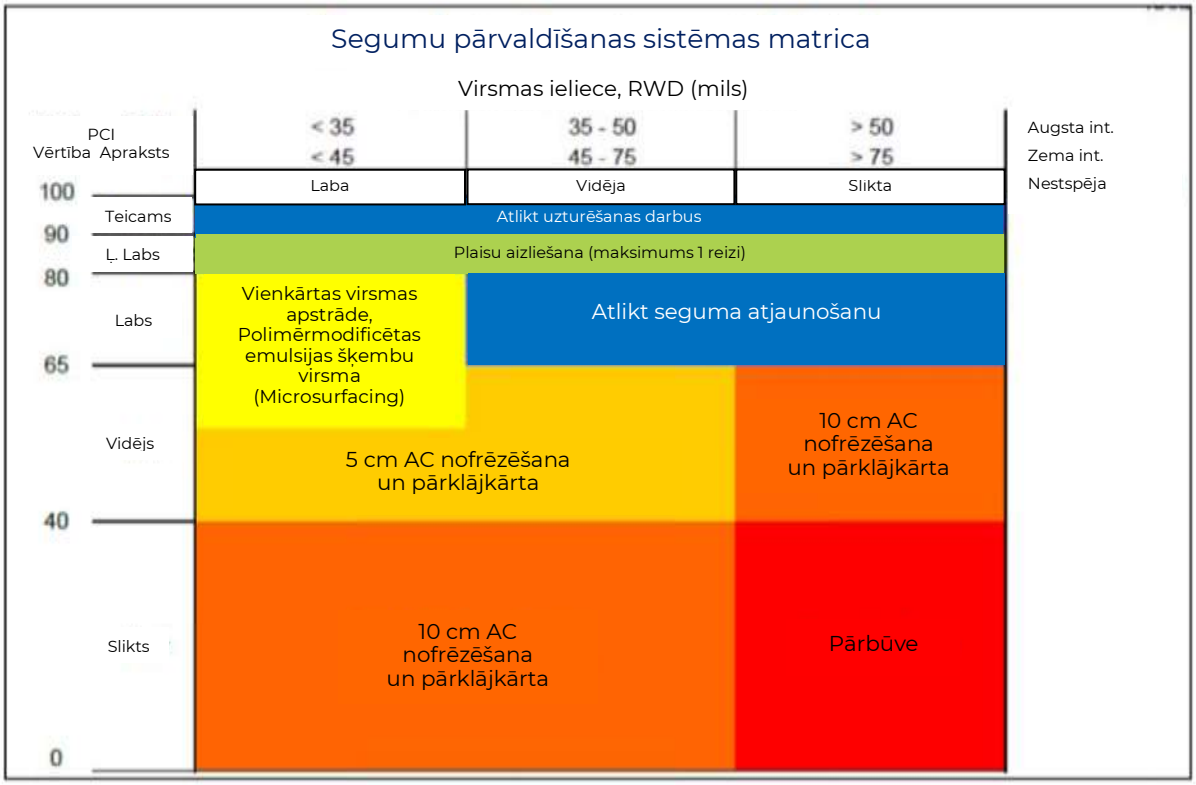
2-1.2. attēls. PCI uzskaites forma [20]

Metodika ir ļoti plaši izplatīta. Balstoties uz PCI metodiku, izstrādāta liela grupa ar tai radniecīgām metodikām (piem., PASER, PAVER). Atkarībā no metodiku izmantošanas jomas un apjoma, koeficientu sistēmas tajās ir atbilstoši koriģētas.

Tā kā atbilstoši PCI metodikai statistiski apstrādājamo datu daudzums ir ievērojams, praksē to apstrādei ir izstrādāts ļoti plašs klāsts atšķirīgu seguma novērtēšanas sistēmu. Tās parasti tiek apvienotas ar ģeogrāfiskās informācijas sistēmas (ĢIS) datiem, sniedzot Aģentūrām pilnvērtīgu pārskatu par to pārvaldībā esošā ceļu tīkla stāvokli.

Vairākas Aģentūras iegūtos seguma stāvokļa datus (noteiktus ar PCI vai citu, analogu metodi), ceļa noslodzes un seguma virsmas ielieces datus apvieno PMS (no angļu val. – Pavement Management System) segumu pārvaldīšanas sistēmas matricās.

Atkarībā no seguma stāvokļa, virsmas ielieces un ceļa noslodzes tiek paredzēti tipveida seguma atjaunošanas risinājumi. Ja seguma stāvoklis ir pārāk slikts un/vai ceļa noslodze ir pārāk liela, tad paredzama segas pārbūve. Zemāk sniegts tipisks PMS matricas piemērs.



2-1.3. attēls. PMS matrica – seguma atjaunošanas veids atkarīgs no seguma stāvokļa, virsmas ielieces un ceļa noslodzes [20]

PMS matrica, kurā seguma atjaunošanas metode ir atkarīga no seguma stāvokļa, virsmas ielieces un ceļa noslodzes ņemta par pamatu arī pēc LVC pasūtījuma izstrādājamām Vadlīnijām.

Seguma atjaunošanas metodikas

Dažādo vadlīniju pamatā galvenokārt ir 3 principiāli atšķirīgas pieejas [1]:

- Strukturālā iztrūkuma pieeja (no angļu val. – Structural Deficiency Approach). Saskaņā ar to projektēto pārklājkārtu biezumam jākompensē esošās segas nestspējas iztrūkums. Pašlaik valdošā pieeja. Pamatojoties uz to, savas metodikas ir izstrādājusi gan ASV Nacionālā Ceļu Standartizācijas Aģentūra (AASHTO), gan ASV Asfalta Institūts, gan arī ASV Armijas Inženieru Korpuss un vairums reģionālo un vietējo ceļu uzturēšanas aģentūru (turpmāk tekstā – aģentūru);
- Maksimālās ielieces pieeja (no angļu val. – Maximum Deflection Approach). Saskaņā ar to segas kalpošanas ilgumu nosaka tās virsmas ieliece. Projektēto pārklājkārtu biezumu projektē tā, lai samazinātu esošā seguma ielieci līdz pieļaujamai vērtībai. Metodiku izstrādājis ASV Asfalta Institūts, bet pielieto – vairākas lielu ASV štatu aģentūras;
- Nolietojuma bojājumu ierobežošanas pieeja (no angļu val. – Fatigue Damage Limiting Approach). Atbilstoši tai segas atlikušo kalpošanas laiku nosaka balstoties uz esošiem seguma bojājumiem – noguruma plaisām un risēm. Projektēto pārklājkārtu biezumu projektē tā, lai ierobežotu plaisu un rišu izplatību. Salīdzinoši jauna, bet plaši atzīta un pielietota ir mehāniski-empīriskā (turpmāk tekstā – M-E) pieeja. Pagaidu metodiku izstrādājusi AASHTO (AASHTO M-E Interim Edition). Savas metodikas izstrādā un izmanto arī vairākas lielu ASV štatu aģentūras [10].

Zemāk sniegts ASV pielietoto seguma apsekojuma, atjaunošanas un pastiprināšanas metožu kopsavilkums izlases kārtībā pa štatiem. Sniegta informācija par ASV ziemeļu štatiem ar Latvijai pietuvinātiem klimatiskajiem apstākļiem (Ziemeļdakota, Vašingtona, Montāna, Minesota, Viskonsina, Mičigana, Ilinoisa, Indiana, Kolorādo), kā arī štatiem ar attīstītākajiem ceļu tīkliem un lielākajām transporta aģentūrām (Kalifornija, Florida, Teksasa, Arizona).

2-1.2. tabula. Seguma stāvokļa novērtējuma un atjaunošanas metožu kopsavilkuma tabula

Štats	Apsekošanas metode	Seguma atjaunošanas metode
Aiova [11]	Virsmas ieliece no RoadTester datiem	Modificēta 1993 AASHTO strukturālā iztrūkuma pieeja, vienkāršota normatīvā pieeja
Arizona [6]	Virsmas ieliece no Dynaflect un IRI	Transporta aģentūrā izstrādāta empīriska metode – SODA
Florida [3]	Vizuāls novērtējums un maksimālā virsmas ieliece no FWD mērījumiem	Modificēta 1993 AASHTO strukturālā iztrūkuma pieeja
Ilinoisa [1]	Maksimālā virsmas ieliece no FWD mērījumiem	Asfalta Institūta maksimālās ielieces pieeja
Indiana [1]	Vizuāls novērtējums un maksimālā virsmas ieliece no FWD mērījumiem	1993 AASHTO strukturālā iztrūkuma pieeja
Kalifornija [5]	Virsmas ieliece un IRI	Kombinēta maksimālās ielieces un empīriskā pieeja
Kolorādo [9]	Virsmas ieliece, IRI, Rises, plaisas	AASHTO M-E Interim Edition
Mičigana [1]	Vizuāls novērtējums	Normatīvi noteikti pastiprinājuma biezumi
Minesota [1]	Maksimālā virsmas ieliece no FWD mērījumiem	Transporta aģentūrā izstrādāta empīriska metode
Montāna [7]	Maksimālā virsmas ieliece no FWD mērījumiem	Modificēta 1993 AASHTO strukturālā iztrūkuma pieeja (modificēti koeficienti)
Teksasa [12]	Vizuāls novērtējums un maksimālā virsmas ieliece no FWD mērījumiem	Modificēta 1993 AASHTO strukturālā iztrūkuma pieeja
Vašingtona [2]	Maksimālā virsmas ieliece	Modificēta 1993 AASHTO strukturālā iztrūkuma pieeja – ROADHOG
Viskonsina [1]	Vizuāls novērtējums un maksimālā virsmas ieliece no FWD mērījumiem	Modificēta 1993 AASHTO strukturālā iztrūkuma pieeja
Ziemeļdakota [8]	Vizuāls novērtējums un maksimālā virsmas ieliece no FWD mērījumiem	Mehāniski-empīriska pieeja, kas balstīta uz 1993 AASHTO strukturālā iztrūkuma modeli

Visas tabulā apkopotās metodikas vieno vairāki kopīgi pamatprincipi:

- Projektēto pārklājkārtu rēķina nevis pašlaik esošajām, bet segas aprēķina kalpošanas perioda beigās prognozētajām transporta noslodzēm;
- Maksimāli cenšas izvairīties no subjektīviem, kvantitatīvi neizmērāmiem seguma stāvokļa vērtējumiem (piem., slikti/labi, daudz/maz);
- Pārklājkārtu aprēķinā maksimāli izmanto datus, kurus var iegūt ar konkrēto ceļu aģentūru rīcībā esošo uzmērīšanas tehniku (piem., segas līdzenumam, virsmas ieliecei, risu dziļumam). Datiem jābūt maksimāli viegli apstrādājamiem, analizējamiem un salīdzināmiem;
- Aģentūru praksē pielietotās metodikas (pretstatā analītiskajām) ir iespējami vienkāršotas un tipizētas. Tās ir maksimāli ātri un ērti lietojamas.
- Jaunākajās aprēķina metodikās atsakās no vispārīgiem, analītiskiem aprēķiniem, bet balstās uz in-situ iegūtiem datiem, kurus apstrādā un pielieto empīriski iegūtās sakarībās;
- Aprēķina izstrādātā kopā ar atbilstošu programnodošinājumu.

Šāda – kvantitatīvi izmērāmos, objektā iegūstamos datos balstīta, tipizēta – pieeja izmantota arī šajās Vadlīnijās. Turpmāk sniegts galveno, ASV izmantoto pieeju principiāls apraksts.

2.1.2. AASHTO 1993 balstītā strukturālā iztrūkuma pieeja

AASHTO pieeja nestingo ceļa segu projektēšanā balstās uz strukturālo skaitli SN (no angļu val. – Structural Number), ar kura palīdzību izsaka visu konstrukcijas kārtu pienesums kopējā segas nestspējā pēc formulas [2]:

$SN_y = a_1*d_1+...a_n*D_n$, kur

SN_y – normatīvi nepieciešamais segas strukturālais skaitlis (kalpošanas laika beigās);

a_n – n-tās kārtas koeficients;

D_n – n-tās kārtas biezums.

Strukturālā iztrūkuma princips nosaka, ka, projektētajam pastiprinājumam jānovērš strukturālais iztrūkums starp faktiski esošo un nepieciešamo segas konstrukciju:

$SN_{ol} = SN_y – SN_{eff}$, kur

SN_y – normatīvi nepieciešamais segas strukturālais skaitlis (kalpošanas laika beigās);

SN_{ol} – nepieciešamais seguma pārklājkārtas strukturālais skaitlis;

SN_{eff} – esošās segas efektīvais strukturālais skaitlis.

Lai noteiktu pārklājkārtas biezumu, projektētā seguma pārklājkārtas strukturālo skaitli izdala ar atbilstošu seguma materiāla koeficientu:

$D_{ol} = SN_{eff}/a_{AC}$, kur

SN_{ol} – nepieciešamais seguma pārklājkārtas strukturālais skaitlis;
D_{ol} – pārklājkārtas biezums;
a_{AC} – projektētās pārklājkārtas karstā asfalta seguma materiāla koeficients.

Jauno un esošo segas materiālu koeficientus atbilstoši seguma stāvoklim izvēlas no tabulām, kuras daudzgadu ekspluatācijas gaitā katra štata ceļu aģentūras pielāgojušas vietējiem apstākļiem (piem., skat. tab. zemāk).

Labs – bez plaisām, nelielas rises, virsmas nelīdzenumi

Vidējs – plaisas ar vērtējumu PCI≥8, nelielas rises, virsmas nelīdzenumi

Slikts – plaisas un rises ar vērtējumu PCI≤7

Kārtu koeficienti nesaistītiem pamatiem un stabilizētai zemes klātnei netiek reducēti

Kārta	Jauna seguma aprēķina koeficients	Seguma stāvoklis Labs	Vidējs	Slikts
FC-2 or FC-5	0			
FC-1 or FC-4	0.20	0.17	0.15	0.12
FC-3	0.22	0.20	0.17	0.15
FC-6	0.44	0.34	0.25	0.15
FC-12.5 or FC-9.5	0.44	0.34	0.25	0.15
Type S or SP	0.44	0.34	0.25	0.15
Type I	0.37	0.30	0.23	0.15
Type II	0.20	0.17	0.15	0.12
Type III	0.30	0.25	0.20	0.15
Binder	0.30	0.25	0.20	0.15
ABC-1	0.20	0.17	0.14	0.10
ABC-2	0.25	0.20	0.16	0.12
ABC-3	0.30	0.25	0.20	0.15
Type B-12.5	0.30	0.25	0.20	0.15
Sand Asphalt Hot Mix (SAHM)	0.15	0.13	0.11	0.08
Sand Bituminous Road Mix (SBRM)	0.15	0.13	0.11	0.08

2-1.4. attēls. Segas kārtu koeficientu a_n tabula Floridā [3]

∇ Pieejas priekšrocības:

1. Uzticama un pārbaudīta pieeja, kas dod aptuveni ticamus rezultātus pie ļoti atšķirīgiem klimatiskajiem un satiksmes apstākļiem;
2. Pieeja balstās arī uz Latvijā izmantotu apsekošanas tehnoloģiju (FWD mērījumi);
3. Pieeja ir viegli un ātri pielietojama.

∇ Pieejas trūkumi:

1. Pieeja ir morāli novecojusi. Tās pamati izstrādāti 20. gs. vidū atbilstoši tolaik pieejamām apsekošanas metodēm un tehnikas attīstības līmenim;
2. Pieeja balstīta uz nepilnīgiem slodzes modeļiem – mūsdienu satiksmes slodzes ir krietni atšķirīgas no 20.gs. vidus slodzēm. Slodžu pārejas koeficienti nereti dod faktiskajai situācijai neatbilstošus rezultātus;
3. Pieeja ir pārāk vispārīga. Metodikas izstrādes laikā tika apkopoti dati par segas darbību tikai vienā klimatā tipā pie viena segas pamata un seguma tipa;
4. Pieeja tās izstrādes gaitā tika nepietiekami aprobēta. Atbilstoši šai pieejai pārbūvētie ceļu testa posmi tika novēroti tikai neilgu laiku pēc to pārbūves;
5. Sākotnējā metodika neparedzēja segumu atjaunošanu un pastiprināšanu. Papildinājumi tika iestrādāti daudz vēlāk [4]. Tā rezultātā iegūtie rezultāti ir neviendabīgi;
6. ASV vēsturiski izmantotie, esošie karstā asfalta maisījumi un seguma biezumi atšķiras no Latvijā esošajiem;
7. Metode neievērtē ģeosintētisko materiālu pielietojumu.

∇ Secinājumi:

1. Pašlaik visu apskatīto štatu aģentūras, kas izmanto strukturālā iztrūkuma pieeju, pielieto uzlabotas un modificētas koeficientu sistēmas, kas atbilst lokālajiem klimatiskajiem apstākļiem, transporta slodzēm un ceļu būvmateriāliem;
2. Pieeja ir morāli novecojusi. Daudzas aģentūras, kas vēsturiski izmantojušas AASHTO 1993 metodiku, ir vai nu atteikušās no tās vai pašlaik izskata alternatīvas pieejas, kas galvenokārt balstās uz mehāniski-empīrisko pieeju. Tās vietā arī AASHTO pašlaik izstrādā jaunu mehāniski-empīrisku metodi (AASHTO M-E), kurai pieejamas pagaidu versijas. M-E metodē tiek izmantoti lieli datu masīvi, tādēļ tā praksē pielietojama tikai kopā ar atbilstošu, pašlaik izstrādes stadijā esošu maksas programmatūru;
3. Vadlīnijās apskatīto ASV Ziemeļu štatu ceļu aģentūras, salīdzinot ar sākotnējo AASHTO 1993 versiju, pielieto nedaudz (līdz ~10-11%) samazinātus jaunu asfalta

materiālu koeficientus, kas var liecināt, ka metodika izstrādāta labvēlīgākam klimatam;

4. Pieeja nav vispusīga – tajā kā galvenie kritēriji izmantoti tikai seguma ielieces dati un vizuāls seguma novērtējums. Mūsdienu seguma stāvokļa novērtēšanas iekārtas ļauj daudz vispusīgāk kvantitatīvi izvērtēt faktisko seguma stāvokli;
5. Doto pieeju nav ieteicams pārņemt. Taču pieejā izmantotie, daudzu gadu gaitā apkopotie, analizētie un koriģētie esošo segumu materiālu nolietojuma koeficienti sniedz lielisku ieskatu par seguma materiālu relatīvo nestspējas zudumu attiecībā jaunu materiālu. Šī relatīvo nestspējas zuduma koeficentu sistēma daļēji pārņemta Vadlīnijās;
6. Pašlaik daudzu štatu aģentūras, analizējot AASHTO 1993 sniegto pieredzi, pielieto un pilnveido daudz vispusīgākas seguma atjaunošanas metodikas. Kā piemērs šādai daudz-komponentu pieejai turpmāk sniegta Kalifornijas štata ceļu aģentūras (Caltrans) 2020. gadā pārskatītā metode. Zemāk sniegts vispārējais metodikas algoritms.

2.1.3. Kalifornijas štata kombinētā pieeja

Pielieto daudzpusīgu, empīrisku nestingo segumu atjaunošanas pieeju. Tās pamatā ir segumu atjaunošanas pētījumi 10 gadu aprēķina kalpošanas laikam. Metodika balstās uz trīs sekojošiem kritērijiem [5]:

- Nestspēja;
- Atstarojošo plaisu novēršana;
- Braukšanas kvalitāte.

Salīdzina pēc šiem kritērijiem noteiktos, nepieciešamos izbūvējamās kārtas biezumus. Lielākais no aprēķinātajiem kārtu biezumiem ir noteicošais, kas jāpieņem par projektēto aprēķina biezumu.

- <u>1. Kritērijs – Nestspēja</u>
  1. Ceļu sadala raksturīgajos aprēķina posmos;
  2. Katram aprēķina posmam veic kontrolurbumu segas kārtu biezuma noteikšanai;
  3. Balstoties uz esošo, AADT un satiksmes sastāvu, nosaka aprēķina ass pārbraucienu skaitu aprēķina kalpošanas periodā (angļu val. – ESAL);
  4. Balstoties uz ESAL, pēc formulas vai tabulas nosaka satiksmes indeksu TI (no angļu val. – TI – Traffic Index – skat. att. zemāk);

ESAL (1), (2)	TI (3)	ESAL (2), (3)	TI (3)
4,710		6,600,000	
	5.0		11.5
10,900		9,490,000	
	5.5		12.0
23,500		13,500,000	
	6.0		12.5
47,300		18,900,000	
	6.5		13.0
89,800		26,100,000	
	7.0		13.5
164,000		35,600,000	
	7.5		14.0
288,000		48,100,000	
	8.0		14.5
487,000		64,300,000	
	8.5		15.0
798,000		84,700,000	
	9.0		15.5
1,270,000		112,000,000	
	9.5		16.0
1,980,000		144,000,000	
	10.0		16.5
3,020,000		186,000,000	
	10.5		17.0
4,500,000		238,000,000	
	11.0		17.5 (4)
6,600,000		303,000,000	

2-1.5. attēls. Pārejas tabula no ESAL uz satiksmes indeksu (TI)

5. Segumam ar krītošā svara deflektometru (FWD) mēra faktisko virsmas ielieci, katram posmam nosaka ielieces vidējo svērto vērtību Dvid. un tās 80 procentili D80.
6. Atkarībā no esošā asfalta seguma biezuma un satiksmes indeksa pēc tabulas nosaka seguma pieļaujamo virsmas ielieci TDS (no angļu val. – TDS – Tolerable Deflection of the Surface – skat. att. zemāk);

Tolerable Deflections at the Surface (TDS) in 0.001 inches

Exist. HMA thick (ft)	Traffic Index (TI)											
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
0.00	66	51	41	34	29	25	22	19	17	15	14	13
0.05	61	47	38	31	27	23	20	18	16	14	13	12
0.10	57	44	35	29	25	21	19	16	15	13	12	11
0.15	53	41	33	27	23	20	17	15	14	12	11	10
0.20	49	38	31	25	21	18	16	14	13	12	10	10
0.25	46	35	28	24	20	17	15	13	12	11	10	9
0.30	43	33	27	22	19	16	14	12	11	10	9	8
0.35	40	31	25	20	17	15	13	12	10	9	8	8
0.40	37	29	23	19	16	14	12	11	10	9	8	7
0.45	35	27	21	18	15	13	11	10	9	8	7	7
0.50(1)	32	25	20	17	14	12	11	9	8	8	7	6
TB (2)	27	21	17	14	12	10	9	8	7	6	6	5
	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5
0.00	58	45	37	31	27	23	20	18	16	15	13	12
0.05	53	42	34	29	25	21	19	17	15	14	12	11
0.10	50	39	32	27	23	20	18	16	14	13	11	11
0.15	46	36	30	25	21	19	16	14	13	12	11	10
0.20	43	34	28	23	20	17	15	14	12	11	10	9
0.25	40	32	26	22	19	16	14	13	11	10	9	8
0.30	37	29	24	20	17	15	13	12	11	9	9	8
0.35	35	27	22	19	16	14	12	11	10	9	8	7
0.40	32	26	21	18	15	13	11	10	9	8	8	7
0.45	30	24	20	16	14	12	11	9	9	8	7	6
0.50(1)	28	22	18	15	13	11	10	9	8	7	7	6
TB (2)	24	19	15	13	11	10	8	7	7	6	5	5

NOTES:

(1)For an HMA thickness greater than 0.50 ft use the 0.50 ft depth.

2-1.6. attēls. Pieļaujamā virsmas ieliece (TDS) atkarībā no satiksmes indeksa (TI) un seguma biezuma

7. Lai segai būtu pietiekama nestspēja, faktiskai virsmas ieliecei D80 jābūt mazākai par pieļaujamo TDS. Ja D80 ir lielāka, aprēķina ielieces procentuālo samazinājumu PRD (no angļu val. – PRD – Percentage Reduction in Deflection): PRD = (D80-TDS)/TDS (%);
8. Atkarībā no PRD pēc tabulas nosaka grants kārtas ekvivalento biezumu GE, kas nepieciešams, lai samazinātu ielieci;

Percent Reduction In Deflection (PRD or PRM) (1)	GE (in feet) For HMA Overlay Design	Percent Reduction In Deflection (PRD or PRM) (1)	GE (in feet) For HMA Overlay Design
5	0.02	46	0.55
6	0.02	47	0.57
7	0.02	48	0.59
8	0.02	49	0.61
9	0.03	50	0.63
10	0.03	51	0.66
11	0.04	52	0.68
12	0.05	53	0.70
13	0.05	54	0.72
14	0.06	55	0.74
15	0.07	56	0.76
16	0.08	57	0.79
17	0.09	58	0.81
18	0.09	59	0.83
19	0.10	60	0.85
20	0.11	61	0.87
21	0.12	62	0.89
22	0.14	63	0.91
23	0.15	64	0.94
24	0.16	65	0.96
25	0.18	66	0.98
26	0.19	67	1.00
27	0.20	68	1.02
28	0.21	69	1.04
29	0.23	70	1.06
30	0.24	71	1.09
31	0.26	72	1.11
32	0.28	73	1.13
33	0.29	74	1.15
34	0.31	75	1.17
35	0.33	76	1.19
36	0.35	77	1.22
37	0.37	78	1.24
38	0.38	79	1.26
39	0.40	80	1.28
40	0.42	81	1.30
41	0.44	82	1.32
42	0.46	83	1.34
43	0.48	84	1.37
44	0.51	85	1.39
45	0.53	86	1.41

Note: (1)PRD is Percent Reduction in Deflection at the surface.
PRM is Percent Reduction in deflection at the Milled depth.

2-1.7. attēls. Grants kārtas ekvivalentais biezums atkarībā no ielieces procentuālā samazinājuma

9. Lai aprēķinātu nepieciešamās karstā asfalta pārklājkārtas biezumu (B), noteikto grants ekvivalentu (GE) izdala pret atbilstošā seguma materiāla grants ekvivalenta koeficentu (Gf) no tabulas (skat. att. zemāk):

Biezums (B) = GE/G_f

Material	G_f (1)
Hot Mix Asphalt Overlay	1.9
Cold in-Place Recycled Asphalt	1.5
HMA Below the Analytical Depth (2)	1.4

2-1.8. attēls. Dažādu seguma materiālu grants koeficienti

∇ 2. Kritērijs – Atstarojošo plaisu novēršana

1. Uz plāna asfaltbetona seguma (biezums <11 cm), izbūvējamās pārklājkārtas biezumu nosaka pēc formulas: B = 0,5*esošās kārtas biezums*1,25;
2. Uz plāna cementbetona seguma (biezums <20 cm) vai bieza asfaltbetona (biezums >11 cm) seguma, izbūvējamās pārklājkārtas biezumu pieņem vismaz 14 cm;
3. Uz bieza cementbetona seguma (biezums >20 cm), izbūvējamās pārklājkārtas biezumu pieņem vismaz 18 cm;
4. Pārklājkārtas biezuma aprēķinā neievērtē seguma dilumkārtu. Attiecīgi – aprēķinātajai pārklājkārtai jāpieskaita dilumkārtas biezums;
5. Atstarojošo plaisu novēršanai paredzētā ģeosintētiskā seguma starpkārta zem pārklājkārtas aprēķinā samazina nepieciešamās karstā asfalta kārtas biezumu par 3 cm.

∇ 3. Kritērijs – Braukšanas kvalitāte

1. Ceļam mēra IRI;
2. Ja IRI>3 (m/km), tad uzklāj minimālo pārklājkārtas biezumu – 8cm;
3. Aprēķinātajā biezumā iekļauta dilumkārta. Paredz 4cm biezu karstā asfalta saistes kārtu un 4cm biezu karstā asfalta vai šķembu mastikas asfalta dilumkārtu;
4. Pirms pārklājkārtu izbūves, nepieciešamības gadījumā, jāveic izlīdzinošā frēzēšana. Paliekošā seguma biezums – vismaz 5 cm.

∇ Metodes priekšrocības:

1. Uzticama un daudzpusīga empīriskā metode. Balstās uz ļoti lielu lauka pētījumos savākto datu kopu atšķirīgos satiksmes un dabas apstākļos;
2. Metode balstās arī uz Latvijā izmantotām apsekošanas tehnoloģijām. Apkopojamie dati nav subjektīvi novērtējami un interpretējami.
3. Metode ir ļoti piemērota automatizētai datorapstrādei. Savācot sākotnējos datus, visi pārējie lielumi ir aprēķināmi automātiski.
4. Metode ļauj ievērtēt arī ģeosintētiskos un reciklētos materiālus.

∇ Metodes trūkumi:

1. ASV vēsturiski izmantotie, esošie karstā asfalta maisījumi un seguma biezumi var atšķirties no Latvijā esošajiem;
2. Kalifornijā un Latvijā valdošie dabas apstākļi atšķiras.

∇ Secinājumi:

1. Kalifornijas (Caltrans) pieeja ir detalizēta un labi piemērota automatizētai datorapstrādei, turklāt izstrādāta, balstoties uz 40 gadu laikā apkopotiem empīriskiem segumu ekspluatācijas un pārbūves datiem. Tā uzskatāma par ērti lietojamu un praksē pārbaudītu rīku.
2. Pieeja ir ļoti daudzpusīga – tā apvieno sevī gan strukturālā iztrūkuma, gan arī maksimālās ielieces un nolietojuma bojājumu ierobežošanas pieeju kritērijus. Noteicošais ir tas kritērijs, kurš dod lielāko pastiprināmās kārtas biezumu.
3. Doto pieeju nav ieteicams pilnībā pārņemt, jo tā balstās uz empīriskiem datiem no vietējiem segas materiāliem, normatīvajām ceļu kategorijām, ass slodzēm un klimatiskiem apstākļiem. Taču daudzi pieejas pamatprincipi (daudzkritēriju segumu analīze, pastiprinājuma biezums atkarībā no slodzēm, definēts kalpošanas laiks, ģeosintētisko un reciklēto materiālu izmantojums) iestrādājami LVC segumu atjaunošanas Vadlīnijās.
4. Vadlīnijās kā neatkarīgu segas nestspējas kontroles kritēriju rekomendēts pārņemt seguma virsmas ielieces (FWD D0) pārbaudi, kas sniedz mērījumos balstītu segas nestspējas vērtējumu.

2.1.4. M-E nolietojuma bojājumu ierobežošanas pieeja

Principiāli jauna segas projektēšanas pieeja. Tā apvieno sevī daudzu gadu laikā apkopotas, empīriski iegūtas seguma noguruma sakarības ar matemātiski modelētiem segas konstrukcijas mehāniskās darbības algoritmiem.

M-E metodika izstrādāta kā stabila, ilgtspējīga modelēšanas platforma, kurā pēc nepieciešamības iespējams mainīt pielikto slodžu tipus, vides apstākļus, izmantoto būvmateriālu īpašības u.c. aprēķina pieņēmumus.

Pieeja izstrādāta, lai aizstātu AASHTO 1993 metodiku. Tajā novērstas AASHTO 1993 atklātās nepilnības un ierobežojumi, kas saistās ar ceļa segas pakāpeniskas nolietošanās prognozēšanu. Tieši pretēji – M-E aprēķinos gandrīz visos gadījumos noguruma plaisas ir seguma stāvokli nosakošais faktors [26]. Tādēļ metode īpaši piemērota jau esošu segumu atjaunošanas modelēšanai.

Zemāk attēlā sniegts M-E metodikā izmantotais esošā seguma stāvokļa novērtējums atkarībā no plaisu apjoma.

Kategorija	Saplaisājušā seguma apjoms (%)
Teicams	<5
Labs	5-15
Vidējs	15-35
Slikts	35-50
Ļoti slikts	>50

2-1.9. attēls. Seguma stāvoklis atkarībā no plaisu apjoma [27]

M-E modelēšanas rezultātus esošiem segumiem stipri ietekmē arī rišu, IRI un FWD mērījumu rezultāti. FWD dati nosaka gan segas elastību, gan seguma stāvokli (skat. att. zemāk).

***Table 2** Behaviour states for granular base pavements (CSRA 1997)*

Behaviour state	Traffic range (E80s) ('000 000)	Maximum deflection (mm)	BLI (mm)	MLI (mm)	LLI (mm)
Very stiff	12 to 50	<0,3	<0,08	<0,05	<0,04
Stiff	3 to 8	0,3 to 0,5	0,08 to 0,25	0,05 to 0,15	0,04 to 0,08
Flexible	0,8 to 3	0,5 to 0,75	0,25 to 0,50	0,15 to 0,20	0,08 to 0,10
Very flexible	< 0,8	>0,75	>0,5	>0,20	>0,10

***Table 3** Deflection bowl parameter structural condition rating criteria for various pavement types*

	Structural condition rating	Deflection bowl parameters				
		D_0 (µm)	RoC (m)	BLI (µm)	MLI (µm)	LLI (µm)
Granular base	Sound	<500	>100	<200	<100	<50
	Warning	500–750	50–100	200–400	100–200	50–100
	Severe	>750	<50	>400	>200	>100
Cementitious base	Sound	<200	>150	<100	<50	<40
	Warning	200–400	80–150	100–300	50–100	40–80
	Severe	>400	<80	>300	>100	>80
Bituminous base	Sound	<400	>250	<200	<100	<50
	Warning	400–600	100–250	200–400	100–150	50–80
	Severe	>600	<100	>400	>150	>80
Note: These criteria can be adjusted to improve sensitivity of benchmarking.						

2-1.10. attēls. Segas elastība un seguma stāvoklis atkarībā no FWD mērījumiem [28]

Tradicionāli, projektējot segas konstrukciju, sākotnēji tiek ievadītas prognozētās transporta slodzes un citi segu ietekmējoši izejas robežnosacījumi, atbilstoši kuriem tiek pieņemta segas konstrukcija. M-E metodika paredz „apgrieztu" projektēšanas darbu secību. Saskaņā ar M-E algoritmu sākotnēji pieņem kādu ceļa segas konstrukciju. Vai – atjaunošanas gadījumā – arī esošo segas konstrukciju. Pēc tam šo konstrukciju pakļauj transporta un vides faktoru kombinētai iedarbībai. M-E modelēšanas rezultātā iegūst informāciju par segas nolietojumu un bojājumu pakāpi definētajā aprēķina laika periodā. Izmēģinājuma ceļā atrod optimālo segas konstrukciju. Modelēšanas rezultātā pārsvarā tiek iegūtas plānākas karstā asfalta seguma konstrukcijas, nekā to paredz AASHTO 1993 metodika[26].

Jāatzīmē – lai gan metodiku jau plaši pielieto, tā pašlaik vēl ir ļoti jauna–pašreiz tiek kalibrētas empīriskās pārneses formulas. T.i. – tiek pārbaudīts, vai PAVER programmā modelētās prognozes sakrīt ar reālo segu nogurumu.

- Metodes priekšrocības:
  1. Metode ir ļoti universāla – empīrisko koeficientu sistēma balstās uz ļoti lielu lauka pētījumos savākto datu kopu atšķirīgos satiksmes un dabas apstākļos;
  2. Metode balstās arī uz Latvijā izmantotām apsekošanas tehnoloģijām. Apkopojamie dati nav subjektīvi novērtējami un interpretējami;
  3. Metode ir ļoti piemērota automatizētai datorapstrādei. Savācot sākotnējos datus, visi pārējie lielumi ir aprēķināmi automātiski;
  4. Metode ļauj ievērtēt arī ģeosintētiskos un reciklētos materiālus.

- Metodes trūkumi:
  1. Metode ir ļoti jauna un praksē sevi nav vēl pierādījusi;
  2. Metodi nav iespējams izmantot bez speciālas maksas programmatūras.

- Secinājumi:
  1. Tā kā metodē izmantotie seguma stāvokļa noteikšanas plaisu un FWD kritēriji balstās ļoti lielā skaita lauka pētījumu, tiek rekomendēts izskatīt iespēju tos pārņemt Vadlīnijās;
  2. Pieeja ir ļoti jauna un nav praksē pārbaudīta – pagaidām nav ieteikts to pilnībā pārņemt.

2.2. Britu Nāciju Sadraudzības valstīs pielietotās metodikas

Valdošās – līdzīgi kā ASV – ir Strukturālā iztrūkuma un Maksimālās ielieces pieejas. Ņemot vērā šo valstu plašo ģeogrāfisko novietojumu un atšķirīgo klimatu (piem., Indija, Austrālija), šajās metodikās, salīdzinot ar ASV izstrādātajām, daudz plašāk ievērtē reģionālos klimatiskos apstākļus (temperatūra, mitrums, grunts īpašības, nokrišņu un iztvaikošanas apjomi u.c.). Lai izvairītos no ļoti smagnējiem aprēķiniem, tiek plaši izmantotas daudzfunkciju nomogrammas.

Publiski pieejamos interneta resursos nav pieejama informācija par progresīvo, mehāniski-empīrisko seguma nolietojuma bojājumu ierobežošanas pieeju.

Segumu atjaunošanas vadlīniju pētījumā zemāk sniegta principiāla informācija par Indijā un Austrālijā pielietotajām metodikām. Šīs metodikas nevar uzskatīt par būtiski atšķirīgām no ASV izmantotajām, taču tajās ievērtētā segumu bojājumu pakāpe vairāk atbilst faktiskajai situācijai Latvijas autoceļu tīklā. Latvijā praksē fiksētie segumu rišu, IRI un FWD mērījumi pēc smaguma pakāpes ir vistuvākie Indijas metodikā lietotajiem.

2.2.1. Indija

Izmanto gan Asfalta institūta izstrādāto Efektīvā biezuma pieeju (principiāli tuva ASV pielietotajai Strukturālā iztrūkuma pieejai), gan Virsmas ielieces pieeju [13].

- ∇ <u>Efektīvā biezuma pieeja</u>
  1. Visus jaunu un esošu segas konstrukcijas materiālu biezumus izsaka ekvivalentā karstā asfalta AC biezumā pēc formulas [13]:

$h_e = \sum(h_i * C_i)$, kur

h_e – ekvivalentais esošās segas biezums;

h_i – i-tās kārtas biezums;

C_i – i-tās kārtas pārveides koeficients.

  2. Analogi (tikai ar koeficientu 1 jaunam karstā asfalta segumam) nosaka arī jaunas segas ekvivalento AC biezumu:

$h_n = \sum(h_i * C_i)$, kur

h_n – ekvivalentais jaunas segas biezums;

h_i – i-tās kārtas biezums;

C_i – i-tās kārtas pārveides koeficients.

  3. Efektīvā biezuma princips nosaka, ka, projektētais pastiprinājums novērš nestspējas zudumu starp faktiski esošo un jaunu segas konstrukciju. Tā

biezumu aprēķina kā jaunas un esošās ekvivalentās AC segas biezumu starpību:

$h_{ol} = h_n - h_e$, kur

h_n – jaunas segas ekvivalentais biezums;
h_{ol} – nepieciešamais seguma pārklājkārtas biezums;
h_e – esošās segas ekvivalentais biezums.

Segas materiālu pārveides koeficientus atbilstoši seguma stāvoklim izvēlas no tabulām (piem., skat. tab. zemāk).

➢ Subgrade	0.0
➢ Granular sub-base, reasonably well graded, hard aggregates with some plastic fines and CBR not less than 20%. Use upper part of range if PI is less than 6; lower part of range if PI is more than 6	0.1 – 0.2
➢ Asphalt concrete surfaces and bases that exhibit Appreciable cracking and crack patterns	0.5 – 0.7
➢ Asphalt concrete surfaces and bases that exhibit Some fine cracking, have small intermittent cracking patterns and slight deformation in the wheel paths but remain stable	0.7 – 0.9
➢ Asphaltic concrete, including asphaltic concrete base, generally uncracked, and with little deformation in the wheelpaths	0.9 – 1.0

2-2.1. Attēls. Segas materiālu pārveides koeficienti karstā asfalta segumā AC [13]

∇ <u>Pieejas priekšrocības:</u>

1. Uzticama un pārbaudīta pieeja, kas dod aptuveni ticamus rezultātus;
2. Pieeja ir viegli un ātri pielietojama;
3. Pieeja ir universāla – izmantojama pie ļoti atšķirīgām segas konstrukcijām un seguma bojājumu pakāpēm.

∇ <u>Pieejas trūkumi:</u>

1. Pieeja ir pārāk vispārīga. Seguma vizuālā stāvokļa novērtējums, uz kura balstās koeficientu sistēma, ir subjektīvs;
2. Metode nav precīza. Tā neievērtē rises, atstarojošo plaisu rašanās riskus;
3. Metodikā nav iestrādātās mūsdienās pieejamās un Latvijā izmantotās seguma apsekojuma metodes un tām atbilstošās mērvienību robežvērtības;

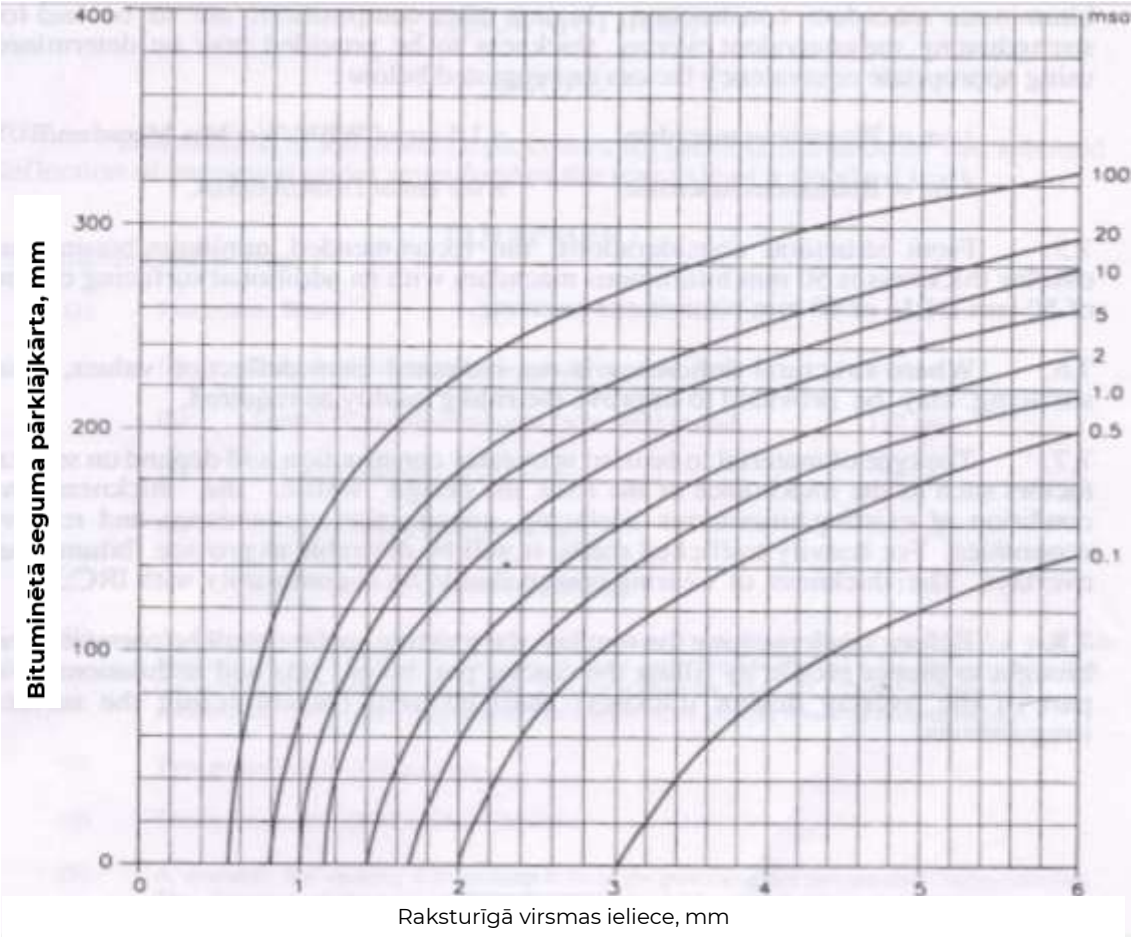
4. Indijā vēsturiski izmantotie, esošie bituminētie maisījumi un seguma biezumi atšķiras no Latvijā esošajiem;
5. Metode neievērtē ģeosintētisko materiālu pielietojumu.

∇ <u>Virsmas ielieces pieeja</u>

1. Segas strukturālo stiprību novērtē pēc seguma virsmas ielieces pieliktās slodzes ietekmē. Lielāka virsmas ieliece liecina par vājāku segu vai pamatnes grunti. Projektētai pārklājkārtai jābūt pietiekami biezai, lai nodrošinātu normatīvi atbilstošu ielieces vērtību;

2. Seguma virsmas faktiski uzmērīto ielieci pareizinot ar vairākiem koriģējošiem koeficientiem (seguma temperatūras novirzes koeficientu un mitruma koeficientu) iegūst raksturīgo virsmas ielieci;

3. Atbilstoši prognozētajai satiksmes intensitātei kalpošanas laika beigās un raksturīgajai virsmas ieliecei pēc nomogrammas nosaka bituminētās pārklājkārtas biezumu (piem., skat. tab. zemāk).



2-2.2. attēls. Bituminētās pārklājkārtas biezuma noteikšanas nomogramma [13]

∇ Pieejas priekšrocības:

1. Uzticama un pārbaudīta pieeja, kas dod aptuveni ticamus rezultātus;
2. Pieeja ir viegli un ātri pielietojama;
3. Pieeja ir universāla – izmantojama pie ļoti atšķirīgām segas konstrukcijām un seguma bojājumu pakāpēm.

∇ Pieejas trūkumi:

1. Indijā valdošie laikapstākļi (mitrums un temperatūra) ir pilnīgi atšķirīgi no Latvijā esošiem. Attiecīgi – metodikā pielietojamās koeficientu sistēmas nav piemērojamas;
2. Metode nav precīza. Tā segas stāvokli novērtē tikai no ielieces viedokļa.
3. Indijā vēsturiski izmantotie, esošie bituminētie maisījumi un seguma biezumi atšķiras no Latvijā esošajiem;
4. Metode izstrādāta virsmas ielieces mērījumiem ar Benkelmana siju. Latvijā tiek izmantots krītošā svara deflektometrs. Lai metode sniegtu ticamus rezultātus, nepieciešama pārejas koeficientu sistēma;
5. Metode neievērtē ģeosintētisko materiālu pielietojumu.

∇ Secinājumi:

1. Indijā pielietotās metodikas pirmšķietami ir vispārīgas un morāli novecojušas, taču tās ir vienkāršas, tādēļ sniedz iespēju dažādas kvalifikācijas personālam sliktā stāvoklī esošiem ceļu posmiem ātri sagatavot segumu atjaunošanai nepieciešamo būvniecības dokumentāciju;
2. Metodikas balstītas vietējos laikapstākļos un segu materiālos, tādēļ tās Latvijā nav pārņemamas.
3. Analogi kā ASV – pieejās izmantotie, daudzu gadu gaitā apkopotie, analizētie un koriģētie esošo segumu materiālu nolietojuma koeficienti sniedz lielisku ieskatu par seguma materiālu relatīvo nestspējas zudumu attiecībā pret jaunu materiālu. Šī relatīvo nestspējas zuduma koeficientu sistēma daļēji pārņemta Vadlīnijās.

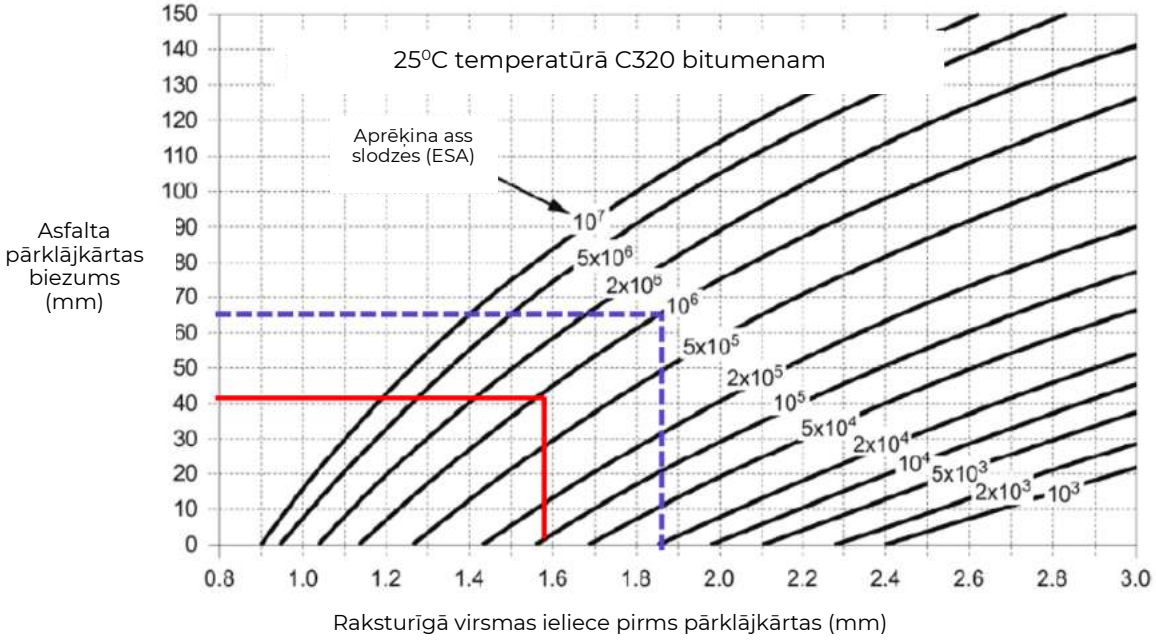
2.2.2. Austrālija

Praksē parasti izmanto vietējiem apstākļiem pielāgotu Maksimālās ielieces pieeju. Salīdzinot ar Indiju, metodika ir daudz detalizētāka [14]. Tā raksturīgās ielieces noteikšanai paredz daudz lielāku skaitu koriģējošu koeficientu, kam jānodrošina daudz precīzāks rezultāts. Atkarībā no mēriekārtas (FWD vai Benkelmana sija) atsevišķiem koeficientiem izvēlas atšķirīgas līknes. Paredz šādus koeficientus:

1. Asfalta seguma temperatūras korekcijas koeficients (jo kārta plānāka – korekcija mazāka);
2. Sezonālās korekcijas koeficients (mitruma ietekme);
3. Reģionālās korekcijas koeficients (no tabulām pa reģioniem);
4. Esošā seguma biezuma un tipa korekcijas koeficients;
5. Rišu nofrēzēšanas koeficients.

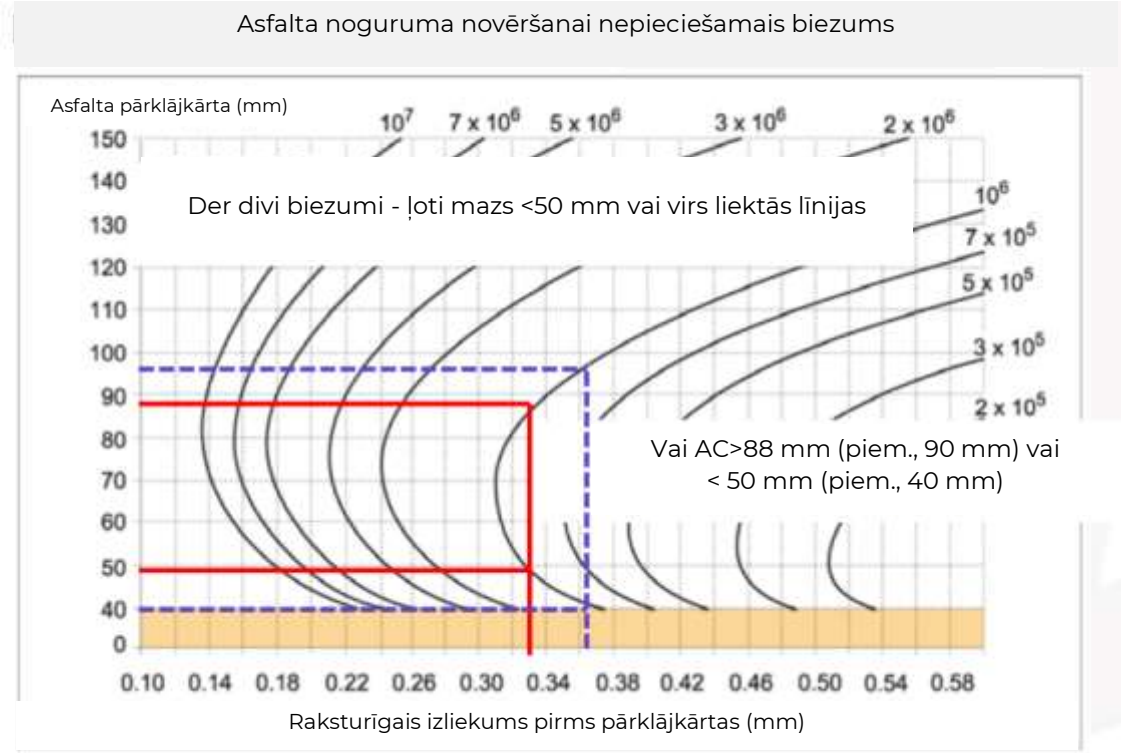
Pēc raksturīgās ielieces noteikšanas no nomogrammas atkarībā no prognozētās segas noslodzes izvēlas atbilstošu seguma pārklājkārtas biezumu (skat. att. zemāk).

Asfalta pārklājkārta – nepieciešamais biezums atkarībā no raksturīgās ielieces



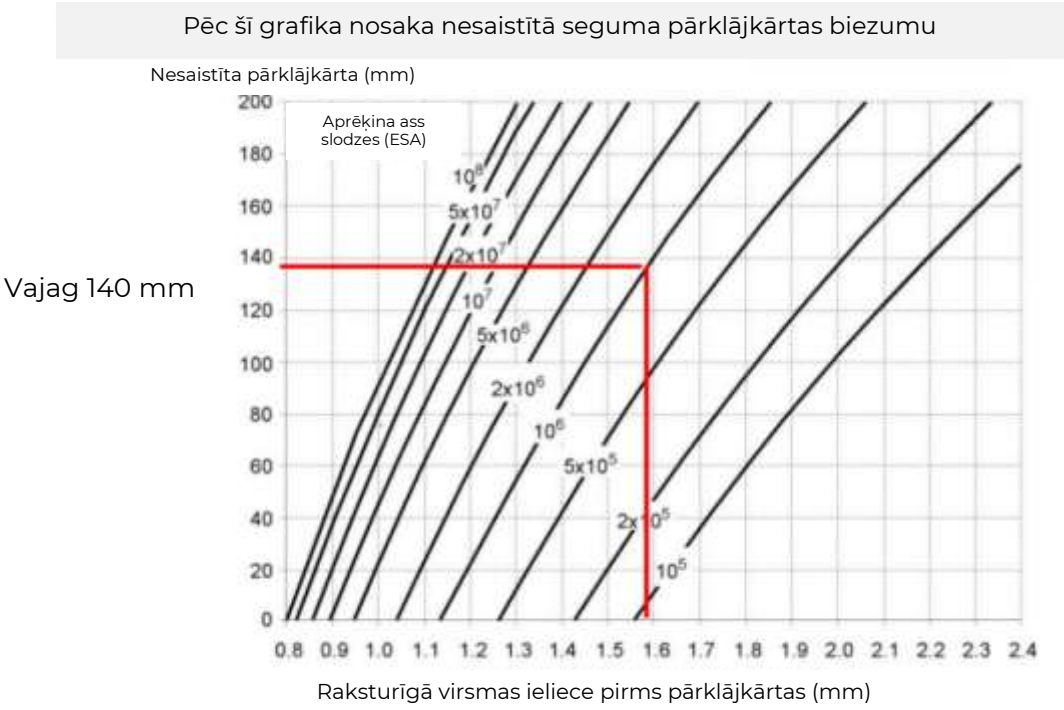
2-2.3. attēls. Karstā asfalta pārklājkārtas biezuma noteikšanas nomogramma [14]

Lai novērstu seguma nogurumu, metodika paredz papildus empīrisku noguruma kontroles kritēriju. Atkarībā no raksturīgās ielieces pēc nomogrammas nosaka pieļaujamos seguma biezumus (skat. att. zemāk). Par pārklājkārtas aprēķina biezumu pieņem to, kas apmierina abus kritērijus.



2-2.4. Attēls. Karstā asfalta pārklājkārtas biezuma noguruma kontroles nomogramma [14]

Metodikas īpatnība – tā ar speciālu nomogrammu palīdzību ļauj noteikt arī nesaistītu un stabilizētu pārklājkārtu biezumus (skat. att. zemāk).



2-2.5. Attēls. Karstā asfalta pārklājkārtas biezuma noguruma kontroles nomogramma [14]

- Pieejas priekšrocības:
  1. Precīza, uzticama un pārbaudīta pieeja;
  2. Pieeja ir viegli un ātri pielietojama;
  3. Daudzpusīga pieeja – tā ievērtē lielu skaitu empīriski pārbaudītu faktoru.

- Pieejas trūkumi:
  1. Pieejā izmantotā reģionālo mitruma un temperatūras koeficientu sistēma Latvijā nav pielietojama;
  2. Metode paredzēta relatīvi labā stāvoklī esošu segumu atjaunošanai. Latvijā vidējais segumu bojājumu apjoms un smaguma pakāpe pārsniedz metodē dotās robežvērtības;
  3. Austrālijā vēsturiski izmantotie, esošie bituminētie maisījumi un seguma biezumi atšķiras no Latvijā esošajiem;
  4. Metode neievērtē ģeosintētisko materiālu pielietojumu.

- Secinājums:

Austrālijā izmantotā pieeja ir precīza un daudzpusīga, taču ļoti lokalizēta. Tā ir lielisks piemērs labi pārdomātai un izstrādātai metodikai. Tomēr Latvijā to pārņemt netiek rekomendēts. Lai to paveiktu, uz daudzgadu pētījumu bāzes būtu nepieciešams izveidot pilnīgi atšķirīgas, empīriskos mērījumos balstītās nomogrammu sistēmas. Dārgs un ļoti laikietilpīgs risinājums.

2.3. Īrijā pielietotā metodika

Īrijā visiem reģionālajiem un vietējiem autoceļiem ar brauktuves platumu virs 4 m izstrādātas vienotas seguma apsekošanas vadlīnijas. Tās reglamentē ceļa seguma apsekojuma metodes, izmantojot transportlīdzekļos uzstādītas mēriekārtas. Definē šādu iegūstamo datu apjomu [22]:

- Plaisas – mēra ar automatizētu sistēmu, kuru veido divas augstas veiktspējas 3D lāzer-profilēšanas iekārtas (angļu val. – high performance 3D laserprofilers), kas normālā braukšanas ātrumā (līdz 100 km/h) ir spējīgas uzmērīt šķērsprofilu (līdz 4 m platumam) ar 1 mm izšķirtspēju. Augstas izšķirtspējas 3D datus automātiski apstrādā. Tie sniedz informāciju par plaisu tipu, apjomu un smaguma pakāpi. Seguma stāvokli nosaka atbilstoši dominējošam plaisu tipam. Seguma bojājuma pakāpes atkarībā no plaisām (tipa, apjoma, smaguma) skatīt zemāk [22].

Plaisu tips	Smaguma pakāpe			Apjoms
	Apraksts	Platums	Kategorija	
Garenvirziena	Šauras	1 mm	1	<1%
Šķērsvirziena	Vidējas	1mm – 3 mm	2	1%-5%
Plaisu tīkls	Platas	>3 mm	3	>5%-10%
Noguruma	Atslāņošanās	>3 mm & atslāņošanās	4	>10%-25%
Neregulāras				>25%

2-3.1. attēls. Seguma stāvoklis atkarībā no plaisām [22]

PIEZĪME:

Plaisas automatizēti kopš ~2016. gada mēra arī Kanādā, Jaunzēlandē un Austrālijā. Parasti vienlaicīgi ar plaisām mēra arī seguma makrotekstūru, rises u.c. seguma bojājumus (piem., bedres, seguma ielāpus, remontētas plaisas, lobīšanos). Pētījuma autors ļoti rekomendē Pasūtītāju izvērtēt šādu automatizētu iekārtu iegādi. Tā kā plaisas ir atzītas par galveno seguma stāvokļa izvērtēšanas kritēriju, šādas apsekošanas iekārtas ļautu objektīvāk noteikt seguma stāvokli un operatīvāk atklāt segumus kritiskajā seguma fāzē.

Zemāk dota specifikācija Īrijā izmantotajām LCMS (no angļu val. – Laser Crack Measurement System) iekārtām:

Number of Laser Profiles	2
Sampling Rate (max)	11,200 profiles
Vehicle Speed	100Km/hr (maximum)
Profile spacing	Adjustable
3D Points per Profile	4096
Transverse field of view	4m
Depth range of operation	250mm
Z axis Range of accuracy	0.5mm
X Axis Resolution	1mm

2-3.2. attēls. LCMS mēriekārtas specifikācija [22]

- Šķērskritums:
  - Rises – mēra ar bezkontakta sensoriem abās riteņu rites joslās.
- Līdzenums:
  - IRI – ļoti būtisks mērījums, mēra atbilstoši ASTM E 950-98(2004) 1. klases prasībām, mēra ar lāzera profilogrāfu, izsaka m/km;
  - LPV (no angļu val. – Longitudinal Profile Variance) – mēra garenprofila mainību abās riteņu rites joslās izmantojot lāzera profilogrāfu Dynatest model 5051 Mark III RSP vai analogu lāzerskanēšanas testa mašīnu [22].
- Seguma virsmas ieliece – mēra ar krītošā svara deflektometru (FWD), lai in-situ novērtētu segas nestspēju. Pārsvarā mēra projektēšanas stadijā, lai noteiktu veicamo darbu veidu. Plaši izmanto nacionālās nozīmes autoceļiem, taču parasti nelieto vietējiem autoceļiem. Normatīvi regulē nacionālais standarts CC-GSW-04008 [23].

Nacionālas nozīmes ceļi Piezīme: Visas ielieces mērītas ar 40 kN slodzi, μ		
D1 (D0) kritērijs	SCI Kritēriji (D1 – D2)	Komentārs
<100	<40	Ļoti stiprs segums
100 – 200	40 – 80	Stiprs segums
200 – 350	80 – 140	Samērā stiprs – atkarībā no satiksmes slodzēm var būt nepieciešama pārklājkārta
350 – 500	140 – 200	Vidēja stiprība – atkarībā no satiksmes slodzēm visdrīzāk vajag pārklājkārtu
500 – 700	200 – 300	Vidēji stiprs/vājš segums –vajag pārklājkārtu (iespējams vajag arī nesaistītā pamata kārtu)
>700	>300	Vājš segums – vajag nesaistītā pamata kārtu vai pārbūvi

2-3.3. attēls. FWD robežvērtības nacionālas nozīmes autoceļiem [23]

- Saķere (no angļu val. – Skid resistance):
    - mēra saķeri starp mitra seguma virsmu un riepu izmantojot SCRIM (no angļu val. – Sideway Force Coefficient Routine Investigation Machine) mēriekārtu;
    - Seguma virsmas makrotekstūra – mēra izmantojot speciālu lāzersistēmu abās riteņu rites joslās atbilstoši IS EN ISO 13473-1:2004.
- Digitālais video – ar divām (uz priekšu un aizmuguri vērstām) augstas izšķirtspējas (vismaz 1280x720 pikseļu) digitālajām video kamerām.

Papildus iepriekš minētajiem mērījumiem ceļu tīkla inventarizācijas vajadzībām pēc pieprasījuma mēra ceļa galvenos ģeometriskos parametrus (brauktuves platums, garenslīpums un šķērskritums, pagrieziena rādiusi, ceļa aprīkojums).

Visām iekārtām jānorāda mērāmā ceļa posma precīzai piesaistei nepieciešamā informācija (a/c numurs, piketāža, pēc pieprasījuma – arī 3D GPS koordinātas).

Seguma virsmas stāvokļa indekss

Papildus automatizētiem mērījumiem ar transportlīdzekļos uzstādītām mēriekārtām maz un vidēji noslogotiem ceļiem Īrijā plaši izmanto PSCI metodiku. PSCI – seguma virsmas stāvokļa indekss (no angļu val. – Pavement Surface Condition Index). Līdzīga metode ASV izmantotajai PCI metodikai, kuras apraksts sniegts iepriekš.

Reģionālo un vietējo ceļu seguma stāvokli nosaka skaitliski ar vērtējumu no 1 līdz 10. Vērtējumu nosaka, balstoties uz vizuālās seguma bojājumu apsekošanas datiem. Ar 10 apzīmē segumu teicamā stāvoklī, bet ar 1 – pilnībā sabrukušu segumu. Vērtējumu sistēmu papildina ar krāsām – vērtējumus 1-4 apzīmē ar sarkanu, 5-6 – ar dzeltenu, 7-8 – ar zilu, bet 9-10 – ar zaļu (skat. att. zemāk).

Izšķir atsevišķas mērījuma sistēmas nestingajiem un stingajiem segumiem, kā arī apdzīvotu vietu un ārpilsētas ceļiem.

Ja citas seguma apsekojuma metodes neizmanto, ceļa segas saglabāšanas risinājumu parasti nosaka, balstoties tikai uz šo metodi. Zemāk dota PSCI robežvērtību kopsavilkuma tabula.

PSCI vērt.	Primārie novērtējuma kritēriji*	Sekundārie novērtējuma kritēriji*
10	Bez redzamiem defektiem.	Seguma virsma teicamā stāvoklī.
9	Minimāli virsmas defekti[1]. Lobīšanās vai Izsvīdumi <10%	Seguma virsma ļoti labā stāvoklī.
8	Vidēji virsmas defekti[1]. Lobīšanās vai Izsvīdumi 10%-30%	Neliels citu defektu apjoms.
7	Plaši virsmas defekti[1]. Lobīšanās vai Izsvīdumi >30%	Neliels citu defektu apjoms. Vecs, nolietots segums.
6	Vidēji citi virsmas defekti[2]. Plaisas <20% Seguma ielāpi labā stāvoklī Braukšanas ātrumu ietekmējoši virsmas nelīdzenumi	Var būt citi seguma defekti[1]. Nav strukturālu bojājumu.
5	Būtiski citi virsmas defekti[2]. Plaisas >20% Seguma ielāpi vidējā stāvoklī Braukšanas ātrumu ietekmējoši virsmas nelīdzenumi	Var būt citi seguma defekti[1]. Neliels skaits lokalizētu strukturālu bojājumu[3] (<5m2 vai dažas lielas bedres).
4	Nelieli strukturāli defekti[3]. Rises, plaisu tīkls, seguma ielāpi sliktā stāvoklī 5%-25% Īsi posmi ar seguma malu aplūzumiem/izdrupumiem Biežas bedres	Var būt citi seguma defekti.
3	Strukturāli defekti[3]. Rises, plaisu tīkls, seguma ielāpi sliktā stāvoklī 20%-50% Gari posmi ar seguma malu aplūzumiem/izdrupumiem Biežākas bedres	Var būt citi seguma defekti.
2	Izteikti strukturāli defekti[3]. Rises, plaisu tīkls vai seguma ielāpi ļoti sliktā stāvoklī >50% Izteiktas rises (>75 mm) Ļoti daudz bedru. Plaši ceļa posmi ar sliktas kvalitātes ielāpiem.	Ļoti grūti izbraucams ceļš.
1	Ļoti būtiski strukturāli defekti[3]. Ceļa seguma virsmas sadēdēšana. Ceļa sabrukums. Daudz lielu un dziļu bedru. Plaši posmi ar sadrupušiem seguma ielāpiem.	Ļoti būtiski bojājumi. Praktiski neizbraucams ceļš.

*Konkrētiem segumiem var nebūt visi uzskatītie vērtējumā uzskaitītie defekti. Var būt tikai 1-2 defektu veidi.

Piezīme 1: Virsmas defekti = lobīšanās vai izsvīdumi.

Piezīme 2: Citi seguma defekti = visi plaisu veidi, seguma virsmas nelīdzenumi, labā un vidējā stāvoklī esoši seguma ielāpi.

Piezīme 3: Strukturāli bojājumi = ar slodzi saistīti defekti – rises, plaisas, malu aplūzumi/izdrupumi, bedres, sadrupuši ielāpi un ceļa segas sabrukums.

2-3.4. attēls. PSCI robežvērtības [24]

Atšķirībā no ASV izmantotās PCI metodikas, Īrijā pielietotā PSCI metode ir būtiski vienkāršāka – atkarībā no seguma stāvokļa tam tiek noteikts atbilstošs novērtējums.

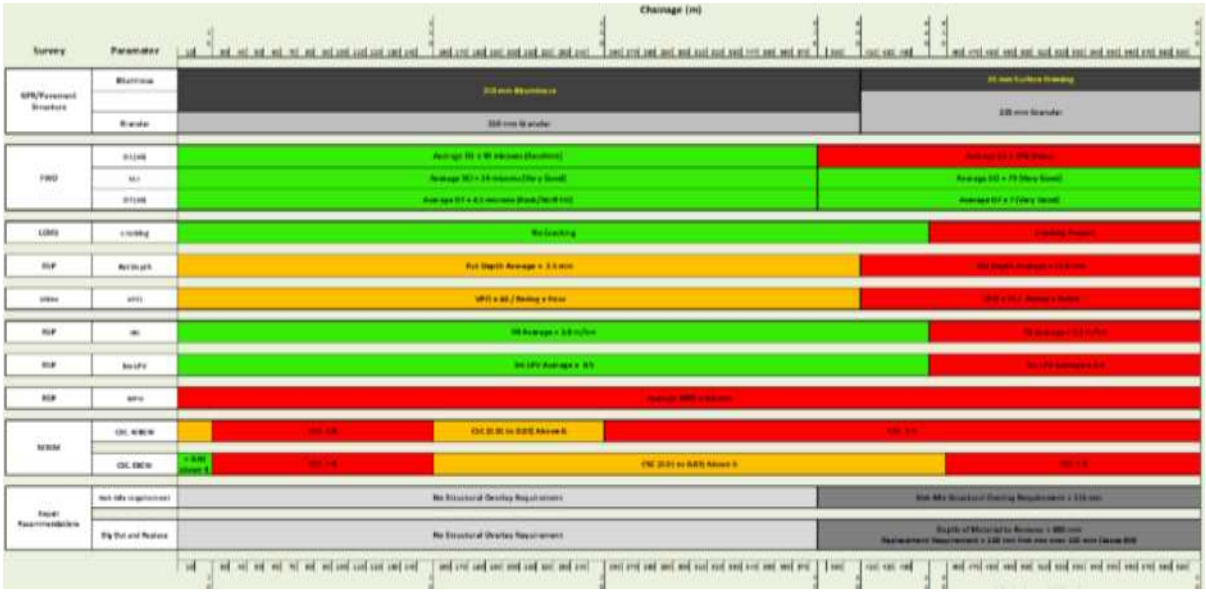
Galvenie seguma virsmas kritēriji:

- labā stāvoklī esošiem segumiem – izsvīdumi un lobīšanās;
- vidējā stāvoklī esošiem segumiem – plaisas un ielāpi;
- sliktā stāvolī esošiem segumiem – plaisu tīkls, malu aplūzumi, rises un bedres.

Tiek uzskatīts, ja plaisu tīkls klāj >50% no seguma un/vai rises ir lielākas par 75 mm, tad pārvietošanās pa ceļu ir ļoti apgrūtināta un ceļa PSCI=2. Pie PSCI=1 ceļa segums ir sabrucis un ceļš ir praktiski neizbraucams [24].

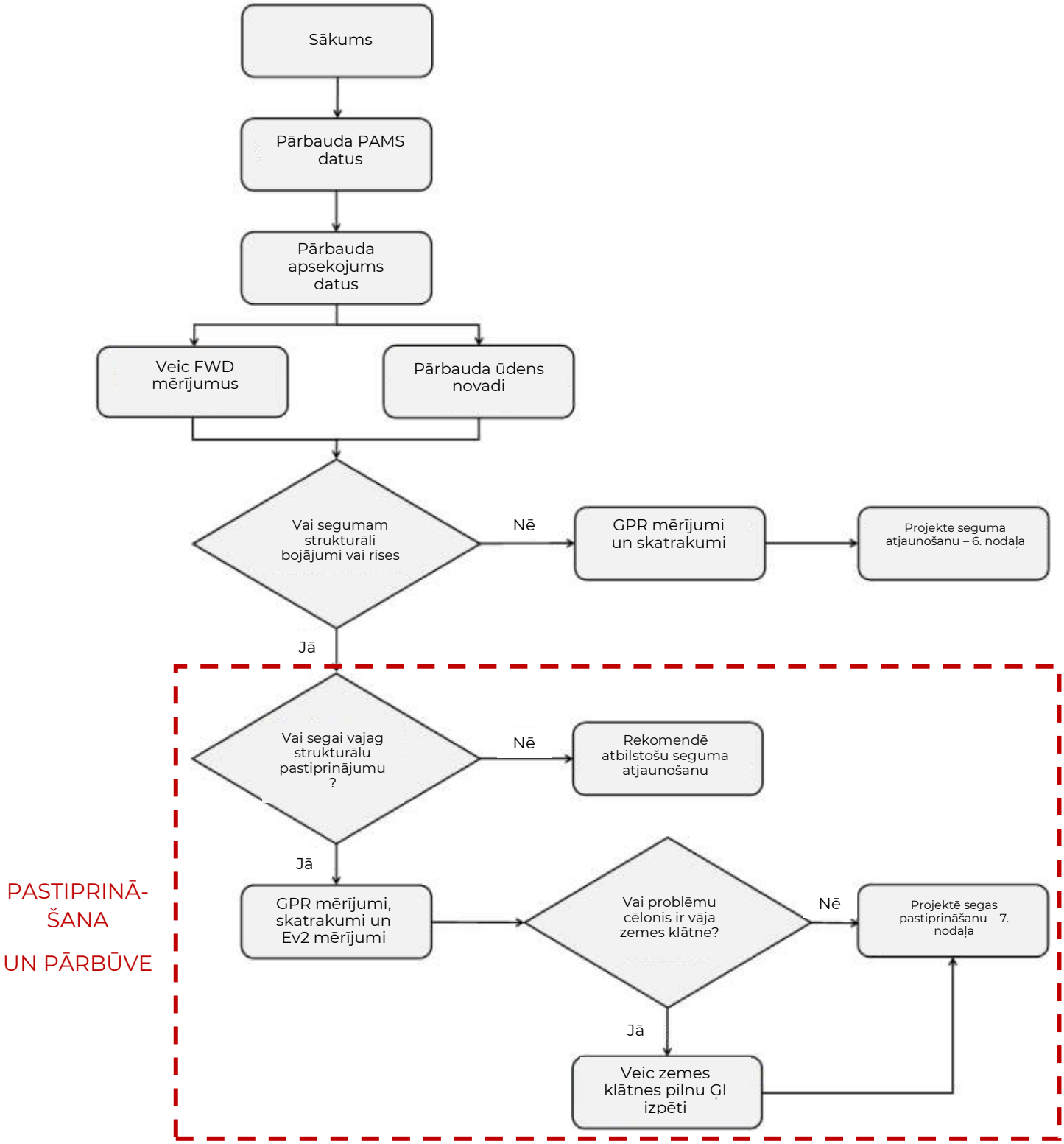
Seguma atjaunošanas metodika

Atšķirīgos testos iegūto informāciju apkopo vienotā PMS (Īrijā to apzīmē – PAMS) matricā, kuru savām vajadzībām izmanto gan ceļu tīkla uzturētājs, gan arī projektētājs. Zemāk dotajā attēlā sniegts piemērs, kur iepriekš minētās testa metodes apvienotas ar segumu vēstures datiem, bet matricas apakšā norādīts, kurā posmā rekomendēta seguma atjaunošana un sniegts tās risinājums. PMS matricās līdzīgi kā PSCI metodikā izmanto krāsu kodējumu, kas būtiski uzlabo informācijas uztveramību.



2-3.5. attēls. Ceļa posma PMS matricas paraugs [25]

Pamatojoties uz PMS matricu, izstrādāts segas saglabāšanas darbu izvēles vispārīgais algoritms (skat. att. zemāk).



2-3.6. attēls. Ceļa saglabāšanas darbu vispārējais algoritms [25]

Segas saglabāšanas darbu izvēles vispārīgais algoritms:

1. Pārskata PMS matricas un PSCI datus;
2. Veic FWD mērījumus un virsmas ūdens novades risinājumu izpēti ar mērķi noteikt, vai ceļa segai ir strukturāli bojājumi;
3. Ja to nav, tad segumam veic kontrolurbumus un GPR analīzi. Balstoties uz iegūtajiem rezultātiem, izvēlas seguma atjaunošanas metodi.
4. Ja segumam nepieciešama nekavējoša strukturāla pastiprināšana, tad veic kontrolurbumus, EV2 mērījumus ar statisko plātni un GPR datu analīzi.
5. Ja zemes klātnē fiksētas vājas gruntis, veic papildus ĢI izpēti un, nepieciešamības gadījumā, projektē segas pārbūvi;
6. Ja zemes klātnes nestspēja ir pietiekama, veic segas pastiprināšanu.

∇ <u>Pieejas priekšrocības:</u>

1. Precīza un ļoti detalizēta, mērījumos balstīta pieeja;
2. Pieeja ir viegli un ātri lietojama – ar atbilstošu programmnodrošinājumu datu apstrāde ir vienkārša;
3. Daudzpusīga pieeja – tā ievērtē lielu skaitu empīriski pārbaudītu faktoru;
4. Universāla pieeja – iegūtos datus var izmantot gan ceļu pārvaldīšanā un uzturēšanā, gan arī atsevišķu būvprojektu izstrādē;
5. Īrijā valdošais klimats, seguma kalpošanas apstākļi un ceļu klasifikācija būtiski neatšķiras no Latvijas.

∇ <u>Pieejas trūkumi:</u>

1. Metode paredzēta relatīvi labā stāvoklī esošu segumu atjaunošanai. Latvijā vidējais segumu bojājumu apjoms un smaguma pakāpe pārsniedz metodē dotās robežvērtības;
2. Metodē izmantotais programmnodrošinājums Latvijā nav pieejams – ceļu aģentūrai jāizveido atbilstoša sistēma;
3. Metode neievērtē ģeosintētisko materiālu pielietojumu.

Secinājumi:

Īrijā ir Latvijai pielīdzināma ceļu tīkla struktūra un satiksmes apstākļi, turklāt tur izmanto līdzīgus seguma stāvokļa testēšanas kritērijus. Taču klimats un gruntis – galvenie seguma kalpošanas apstākļi – atšķiras.

Rekomendēts ceļa segumu apsekošanā pārņemt automatizētu plaisu uzmērīšanas sistēmu (LCMS vai analogu) izmantojumu.

Tiek rekomendēts Vadlīnijās pārņemt Īrijas praksi un segumu atjaunošanas algoritma pamatā pieņemt PMS matricu, kurā attēloti uzmērītie seguma stāvokļa dati.

Ceļa saglabāšanas darbu vispārējā algoritmā rekomendēts pārņemt darbu secību – 1) seguma uzmērījuma un apsekojuma dati – 2) kontrolurbumi un GPR dati – 3) strukturālu bojājumu noteikšana un ūdens novades problēmas – 4) seguma atjaunošanas, segas pastiprināšanas vai pilnas pārbūves izvēle.

Nosakot seguma stāvokļu kritēriju robežvērtības, rekomendēts izskatīt Īrijā normatīvi noteiktās plaisu un FWD robežvērtības, tās koriģējot atbilstoši Latvijā esošajai ceļu tīkla struktūrai un tehniskajam stāvoklim.

2.4. FWD mērījumu korekcijas

FWD lauka mērījumos iegūtos rezultātus ietekmē no segas konstrukcijas neatkarīgi testa apstākļi. No šādiem apstākļiem būtiskākie ir seguma faktiskā temperatūra un izvēlētā testa slodze.

Lai dabā uzmērītās FWD vērtības būtu savstarpēji salīdzināmas, analizējamas un izmantojamas tālākos aprēķinos, atšķirīgo testa apstākļu ietekme no tālākiem aprēķiniem jāizslēdz. Tas izdarāms, veicot atbilstošas dabā uzmērīto lielumu korekcijas ar mērķi pāriet uz vienotām aprēķina temperatūras un slodzes vērtībām. Izmantojami atbilstoši korekcijas koeficienti.

Vadlīniju vajadzībām pieņemta Latvijā jau pašlaik izmantotā FWD testa slodze 50 kN un seguma aprēķina temperatūra 20^{0}C.

Zemāk sniegta izvērsta informācija par korekcijas koeficientu aprēķina metodiku.

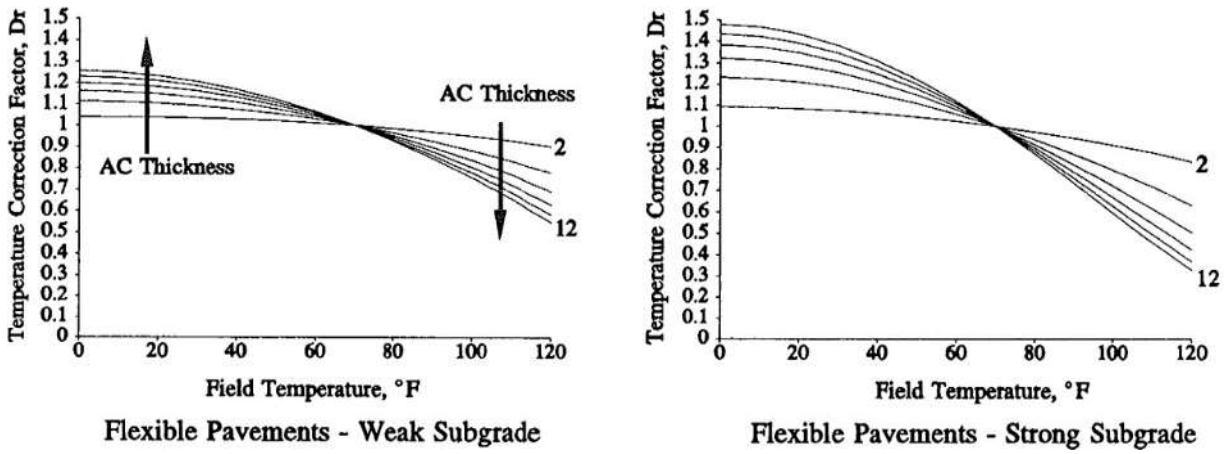
2.4.1. Seguma temperatūras korekcija

Seguma virsmas ielieces lauka uzmērījums ir atkarīgs no seguma temperatūras. Jo segums biezāks, jo temperatūras ietekme lielāka. Aprēķina vajadzībām nepieciešama t.s. virsmas ielieces aprēķina vērtība, kurā novērsta temperatūras ietekme.

Lai to izteiktu, ASV ieviests korekcijas koeficients Dr, ar kura palīdzību lauka uzmērījums pārrēķināms uz virsmas ielieces uzmērījumu 20^{0}C (68^{0}F) temperatūrā. Šāda aprēķina temperatūra izvēlēta tādēļ, lai virsmas ielieces mērījumu sasaistītu ar ASV pielietoto seguma nestspējas mēru – strukturālo skaitli (SN). Tā noteikšanai visi aprēķini veicami tieši šādā temperatūrā.

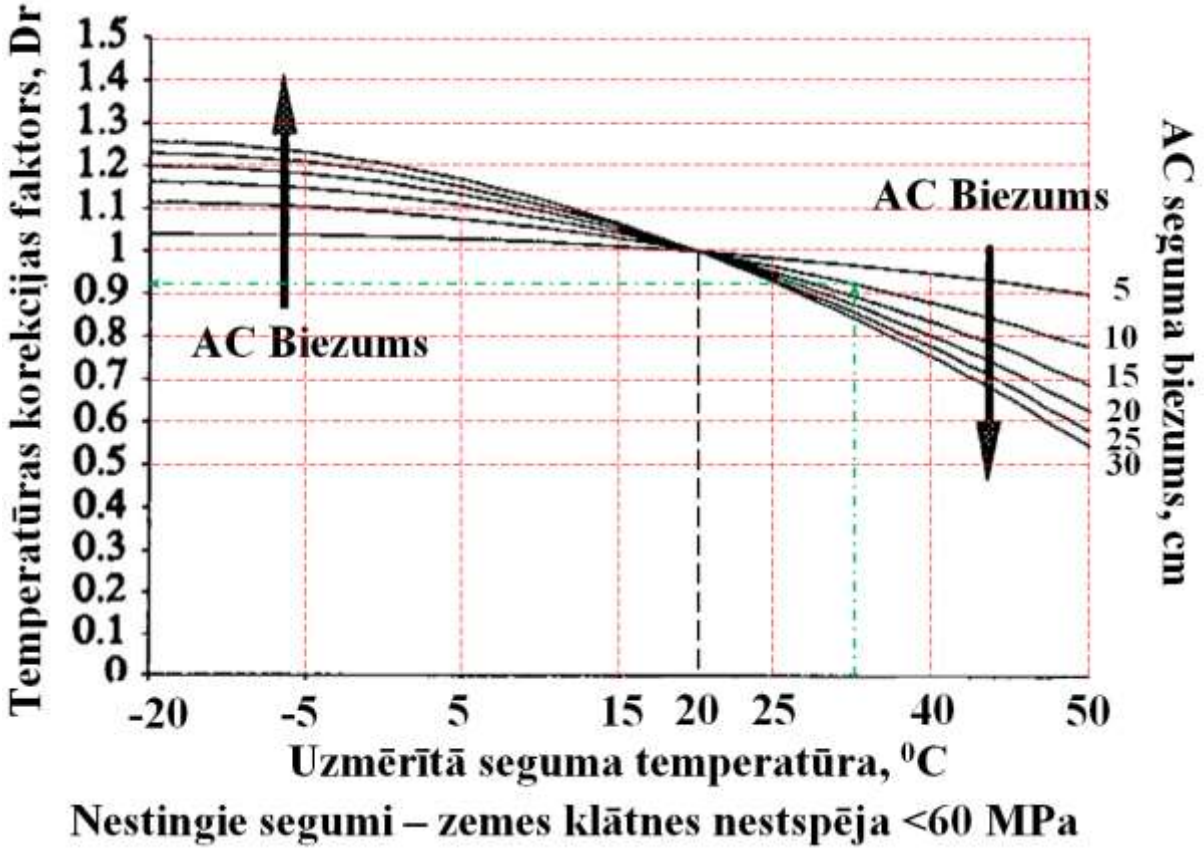
Lai noteiktu korekcijas koeficienta Dr vērtības, visā Ziemeļamerikas teritorijā veikti plaši lauka pētījumi. Pētījumos iegūtie dati salīdzināti ar teorētiski modelētajām vērtībām. Datu analīzei izstrādāta speciāla programmatūras sistēma – FWDCHECK, ar kuras palīdzību modelēta lineāri-elastīga un nelineāra segas darbība [42].

Pētījuma rezultātā izstrādātas koeficienta Dr noteikšanas nomogrammas nestingajiem un kompozītajiem segumiem (skat. att. zemāk).



2-4.1. attēls. Virsmas ielieces korekcijas nomogrammas nestingajiem segumiem uz vājām un stingrām zemes klātnēm [42]

Mērījumu korekcija Vadlīnijās iestrādāta FWD D0 kontroles kritērijā. Vadlīniju vajadzībām izmantota nestingo segumu nomogramma ceļa segām, kur zemes klātnes vērtība nepārsniedz ~60 MPa. Nomogrammā mērvienības pārveidotas SI sistēmā (skat. att. zemāk). Uzmērītajai D0 vērtībai atbilstoši šai nomogrammai piemērojama attiecīgā korekcija.



2-4.2. attēls. D0 korekcija

2.4.2. Testa slodzes korekcija

Seguma virsmas ieliece atkarīga no slodzes, ar kādu FWD mērījums veikts. Jo pieliktā slodze lielāka, jo izteiktākai jābūt arī virsmas ieliecei.

Vadlīnijās kā kontroles kritērijs tiek pielietota ASV Kalifornijas štatā izmantotā CALTRANS seguma pārklājkārtas biezuma noteikšanas metodika. Atbilstoši tai FWD tests veicams ar ASV pielietoto 40 kN slodzi. Arī visas normatīvi pieļaujamās seguma virsmas ielieces vērtības dotas atbilstošas testam ar 40 kN.

Latvijā (un pārsvarā arī citviet Eiropas savienībā) FWD testu veic ar 50 kN testa slodzi. Mērījumos iegūtajām virsmas ielieces vērtībām pie šādas slodzes jābūt lielākām, nekā, ja tos veiktu ar 40 kN slodzi. Attiecīgi – lielākām jābūt arī Vadlīnijas sniegtajām, normatīvi pieļaujamajām seguma virsmas ielieces vērtībām.

<u>Jautājums – par cik lielākas, salīdzinot ar CALTRANS metodiku, pieņemt Vadlīnijās izmantotās pieļaujamās ielieces vērtības?</u>

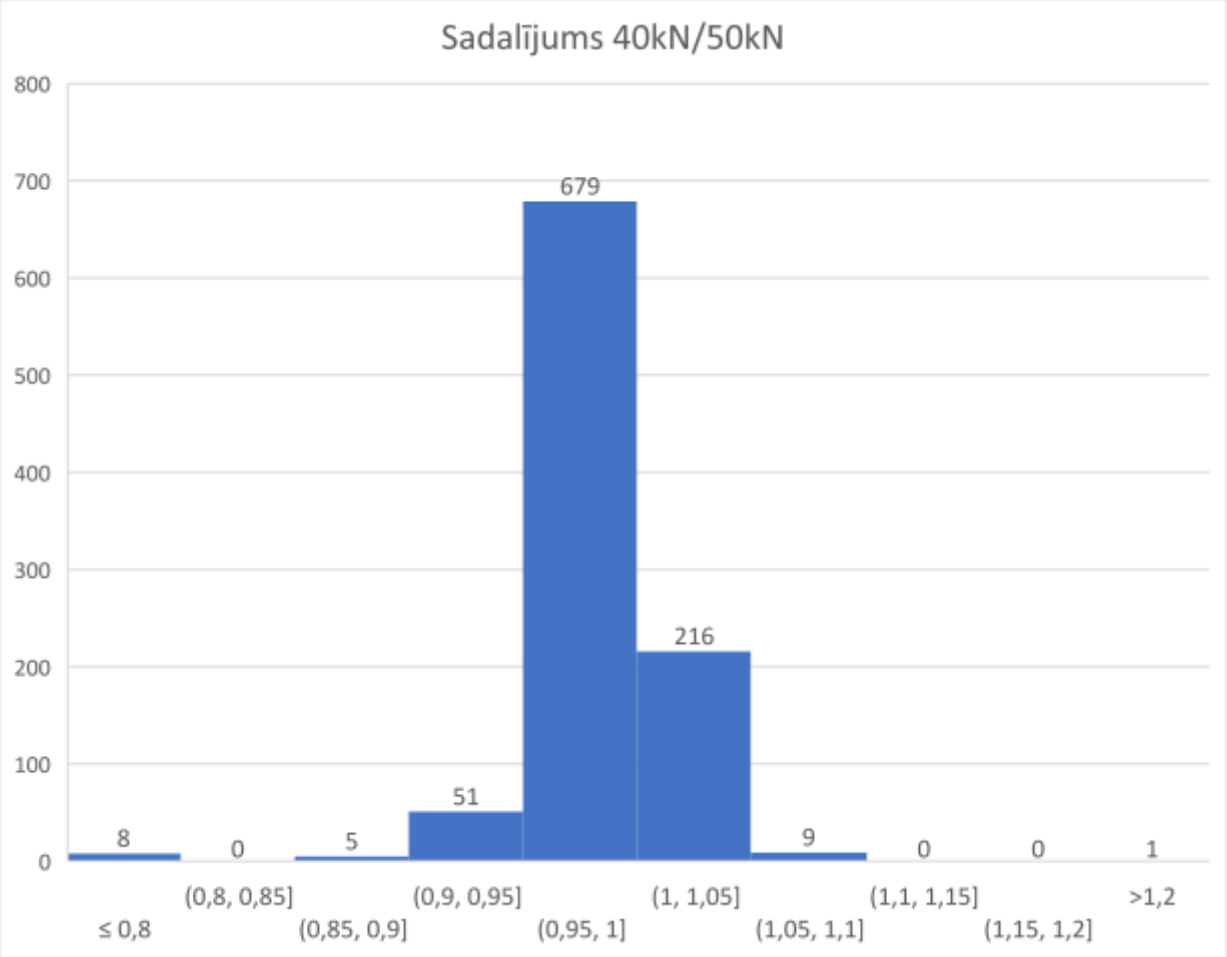
Lai to noteiktu, LVC Autoceļu kompetences centrs (turpmāk tekstā – AKC) valsts autoceļu tīklā veica salīdzinošos mērījumus un veica iegūto datu analīzi. Izsakām dziļu pateicību AKC

speciālistiem par pieliktajām pūlēm – bez Jūsu palīdzības šāda, korekta datu ieguve un apstrāde tik lielā apjomā nebūtu bijusi iespējama!

Pētījuma nolūkā vienos un tajos pašos izpētes punktos FWD uzmērīšana tika veikta ar 40 kN un 50 kN slodzi. Mērījumi veikti valsts galvenā autoceļa A8 posmā, kā arī vairākos valsts reģionālo autoceļu (P8, P64, P69, P69, P124 un P126) posmos. Kopumā veikti 969 mērījumi. Iegūtā datu kopa ir pietiekami reprezentatīva, lai no tās iegūtos rezultātus izmantotu testa slodzes korekcijai.

Analizējot iegūtos datus, sākotnēji pārbaudīts, vai, palielinot segumam pielikto slodzi, lineāri palielinās ar virsmas ieliece. Lai to izdarītu, pie abām slodzēm aprēķināts virsmas elastības modulis, kas atkarīgs no slodzes un ielieces. Attiecīgi – pie lineāras segas uzvedības virsmas modulim pie dažādām slodzēm jābūt vienādam.

Katrā izpētes punktā, salīdzinot abas (pie 40kN un 50 kN) iegūtās virsmas moduļa vērtības, tika iegūta relatīvā atšķirība starp šiem lielumiem. Atbilstoši tai sastādīta rezultātu sadalījuma histogramma (skat. att. zemāk).



2-4.3. attēls. Iegūto elastības moduļa vērtību salīdzinājums pie 40 kN un 50 kN

Analīzes rezultātā noteikts, ka pārsvarā (ar 5% precizitāti) rezultāti sakrīt. Tikai 8 paraugos no 969 (0,83%) rezultātu atšķirība sasniedza 20%. Šajos izņēmuma gadījumos fiksēta ievērojami lielāka atšķirība starp mērķa slodzi un faktisko. Šāds rezultāts bieži parādās, veicot mērījumus uz ļoti nelīdzenām virsmām (lielas rises, saplaisājusi virsma u.c.). Tas liek domāt, ka šo atšķirību cēlonis ir nekorekti veikts mērījums. To ievērtējot, var uzskatīt, ka sega nospiedošā vairumā gadījumu darbojas lineāri.

Tādēļ nākamajā solī noteikts – tieši par cik palielinās virsmas ieliece:

1. Katram mērījumam salīdzināta virsmas ieliece pie 40 kN un 50 kN. Noteikta virsmas ielieces procentuālā izmaiņa pie slodzes palielinājuma;
2. Visai procentuālās izmaiņas iegūto datu kopai noteikta vidējā svērtā vērtība. Palielinājums sastādīja vidēji 23%;
3. Noteikts Vadlīnijās izmantojamais pieļaujamo virsmas ielieču pārejas koeficients – 1,2;
4. Atbilstošajā Vadlīniju tabulā koriģētas maksimāli pieļaujamo virsmas ielieču vērtības.

2.5. Kopsavilkums

∇ Vadlīnijās iekļaujami sekojoši analīzē identificētie labas prakses pamatprincipi:

1. Atjaunojamā seguma ekspluatācijas aprēķina periods līdz kārtējai atjaunošanai – 7 gadi;
2. Atjaunojamā seguma konstrukcijas rēķina uz perspektīvo noslodzi aprēķina perioda beigās;
3. Ceļa posmi iedalāmi raksturīgajos posmos atbilstoši to noslodzei, seguma konstrukcijai un stāvoklim;
4. Seguma stāvokļa noteicošie kritēriji ir seguma bojājumi (plaisas, rises) un IRI. Dziļākus strukturālus defektus palīdz identificēt virsmas ielieces mērījumi (FWD).
5. Seguma stāvokļa kritērijus mēra ar atbilstošām iekārtām un apvieno kopējās seguma stāvokļa matricās.
6. Esošā seguma stāvokli identificē ar viegli uztveramiem skaitliskiem un tiem atbilstošiem krāsu indeksiem;
7. Seguma stāvoklis nosaka segas pamata materiālu nestspējas zudumu, ko tālāk skaitliski izsaka, veicot konstrukciju kontrolaprēķinus;
8. Atbilstoši seguma stāvoklim un ceļa noslodzei nosakāma piemērota atjaunojamā segas konstrukcija.

∇ Piezīmes un rekomendācijas:

1. Lai iegūtu objektīvu, automatizēti izmērāmu informāciju par saplaisājušā seguma apjomu, LVC tiek rekomendēts iegādāties seguma plaisu lāzerprofilēšanas mēriekārtu (LCMS). Pirms tās iegādes rekomendēts izstrādāt metodiku iegūto datu tālākai izmantošanai;
2. FWD lauka uzmērījumus pirms tālākas izmantošanas nepieciešams koriģēt atbilstoši seguma temperatūras/biezuma nomogrammām.
3. FWD korekcijas kritērijs Vadlīnijās iestrādājams FWD D0 kontroles kritērijā.

3. Ģeosintētiskie materiāli

3.1. Vispārīgi

Ceļu un ceļu segas, kas ir pakļautas siltuma, noguruma un atstarojošai plaisāšanai, būvniecībā un atjaunošanā izmantoto ģeotekstilizstrādājumu un ar ģeotekstilu saistīto izstrādājumu galvenā funkcija ir samazināt plaisāšanas apjomu jaunā ceļa segā vai asfalta pārklājkārtā [45].

Turklāt ir iespējams nodrošināt barjeru ūdens iekļūšanai virzienā no augšas uz leju pie apakšējā pamata un/vai zemākā slāņa [45].

To panāk, lietojot stiegrojuma, atspriegošanas, (starpslāņu) barjeru vai šo funkciju kombināciju [45].

Asfalta segumu plaisāšana ir atzīta par vienu no lielākajiem izaicinājumiem, ar ko saskaras ceļu uzturēšanas inženieri. Asfalta starpkārtas ir pārbaudīta pieeja, lai pagarinātu seguma kalpošanas laiku. Ievietojot starp bitumenizētām kārtām vai starp betonu un asfalta kārtām, šie produkti aizkavē atstarojošo plaisu attīstību un izplatīšanos, kas izraisa priekšlaicīgu seguma sabrukumu [56].

Šīm sistēmām ir gara novērojumu vēsture ar veiksmīgu pielietojumu, vadoties pēc 2017. gada datiem, Lielbritānijā ik gadu tiek izbūvēti vairāk nekā 2.7 miljoni m^2, un vairāk nekā 100 miljoni m^2 ir izbūvēti visā Eiropā kopš 1980. gadiem. Šajā periodā industrija ir nepārtraukti pilnveidojusi tās produktus, sistēmas un ieklāšanas tehnikas, kā arī ieguvusi pierādījumus par to darbības principu [56].

Bitumenizētās kārtas objektos plaisā, jo tie nespēj izturēt deformācijas, bīdes un stiepes spriegumus, ko rada vairāki faktori, kas rada vienu vai vairākus no šādiem bojājumiem:

- Atstarojošās plaisas;

3-1.1. attēls. Atstarojošās plaisas [56]

- Noguruma plaisas;

3-1.2. attēls. Noguruma plaisas [56]

- Dažādi nosēdumi (bieži izplatīta ceļu paplašināšanas gadījumos vai uz vājas pamatnes);

3-1.3. attēls. Dažādi nosēdumi bruģī zem asfalta [56]

- Termiskās plaisas;

3-1.4. attēls. Termiskās plaisas [56]

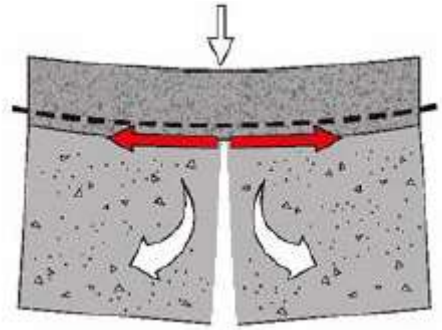
Asfalta segums ir pakļauts dažādām slodzēm un spriegumiem:

- Vertikālie spēki no transportlīdzekļu riteņu slodzes;
- Horizontālie spēki no transportlīdzekļu bremzēšanas un paātrināšanās;
- Materiālu izplešanās un rukums temperatūras izmaiņu ietekmē;
- Izplešanās no ūdens sasalšanas ziemas periodā;
- Atšķirīgas nestspējas pamatnes nosēšanās;
- Pamata pacēlums un nosēšanās mitruma daudzuma izmaiņu ietekmes rezultātā;

Šie spēki un spriegumi, deformācijas un pārvietojumi seguma kalpošanas laikā noved pie dažādiem plaisu un risu veidošanās mehānismiem.

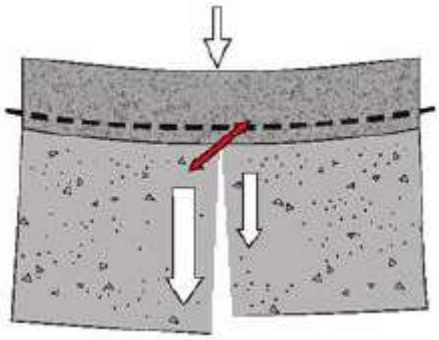
Segumā galvenokārt rodas šāda veida plaisas: lieces, bīdes un termiskās ietekmes:

- Lieces plaisas – šis sabrukuma veids ir relatīvi biežs un labi izprasts. Tas ir salīdzinoši vienkārši atkārtots ar vairākiem laboratorijas modeļiem, lai testētu plaša diapazona materiālus.



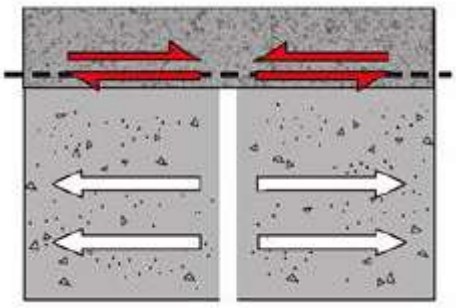
3-1.5. attēls. Liece [56]

- Bīdes plaisas – vispārīgi pieņemts kā vissarežģītākais sabrukuma veids, ko novērst, un, ja ir novērojami būtiski vertikālās bīdes pārvietojumi (vairāk nekā pāris mm), tad ir maz ticams, ka asfalta starpslāņi spēs paildzināt atstarojošo plaisu veidošanos. Parasti tiek rekomendēts veikt citus atjaunošanas darbus, lai samazinātu vai novērstu bīdes pārvietojumus pirms seguma apstrādes ar asfalta starpkārtām. Šis ir ļoti sarežģīts sabrukumu veids veiksmīgai modelēšanai laboratorijās, lai gan daži šādi pētījumi ir veikti.



3-1.6. attēls. Bīde [56].

- Termiskās plaisas – šo sabrukuma veidu var novērst ar plaša diapazona risinājumiem, lai gan, tā kā termiskie pārvietojumi mēdz būt cikliski, jāapsver izmantotās asfalta starpkārtas veids. Termiskās deformācijas ir relatīvi vienkārši modelēt laboratorijās.



3-1.7. attēls. Termiskā ietekme [56].

Asfalta ģeosintētiskajiem materiāliem prasības nosaka Eiropas standarts EN 15381 „Geotextiles and geotextile-related products. Characteristics required for use in pavements and asphalt overlays", LVS EN 15381 "Ģeotekstilmateriāli un tiem radniecīgi izstrādājumi. Nepieciešamais raksturojums to lietošanai ceļa un asfalta segām" ir Eiropas standarta EN 15381 latviskā versija. Latviskajai versijai ir tāds pats statuss kā oficiālajai versijai.

Šis standarts ļauj ražotājiem raksturot ģeotekstilizstrādājumus un ar ģeotekstilu saistītos izstrādājumus, pamatojoties uz to raksturlielumu deklarētajām vērtībām, kas saistīti ar paredzēto lietošanu, ja tie ir testēti atbilstoši norādītajai metodei. Tas iekļauj arī atbilstības un ražošanas procesa kontroles novērtēšanas procedūras [45].

Šajā dokumentā lietotais termins "izstrādājums" attiecas uz ģeotekstilizstrādājumu un ar ģeotekstilu saistītiem izstrādājumiem.

Raksturlielumi, to saistība ar lietošanas apstākļiem un izmantojamās testa metodes ir norādītas 3-1.1. un 3-1.2. tabulās.

3-1.1. tabula. Nemetāliskie ģeotekstilizstrādājumi un ar ģeotekstilu saistītie izstrādājumi, kas izmantoti ceļu segās un asfalta pārklājkārtās – funkcijas, ar funkcijām saistītie raksturlielumi un izmantojamās testa metodes [45]

Raksturlielums	Testēšanas metode	Funkcija		
		Stiegrojums	Atspriegošana	Starpslāņu barjera
(1) Stiepes izturība	EN ISO 10319 [a]	H	H	H
(2) Pagarinājums pie maksimālās slodzes	EN ISO 10319 [a]	H	H	H
(3) Dinamiskā perforācija [b]	EN ISO 13433	H	- -	H
(4) Statiskās caursites stiprība [b]	EN ISO 12236	H	H	H
(5) Izturība	Pielikums B	H	H	H
(6) Noturība pret laikapstākļu ietekmi [c]	EN 12224 B.1 no šī standarta	S	S	S
(7) Bitumena saturēšana	Pielikums C	- -	H	A
(8) Kušanas punkts	EN ISO 3146	S	S	S
(9) Sārma pretestība (skatiet 3. piezīmi)	EN 14030 B.2 no šī standarta	S	S	S

Atbilstība

H: nepieciešams regulatīvajiem nolūkiem

A: attiecas uz visiem lietošanas nosacījumiem, bet nav obligāts dizainam vai specifikācijām

S: attiecas uz specifiskiem lietošanas nosacījumiem

"- - " norāda, ka raksturlielums neattiecas uz šo funkciju.

[a] EN ISO 10319 var nebūt piemērots specifiskiem izstrādājumiem (piemēram, stikla šķiedras režģiem). Šādos gadījumos ir jāizmanto piemērotākas metodes EN ISO 13934-1 vai ASTM D6637-01. Jebkurā gadījumā stiepes testi ir jāveic gataviem izstrādājumiem.

[b] Šī testa princips var nebūt piemērojams visiem materiāliem, un ir jāapsver testa derīgums dažiem izstrādājumu veidiem, piemēram, režģiem. Ja stiepes stiprības un statiskās caursites kodējums šajā tabulā ir "H", ražotājam ir jāspēj nodrošināt dati abiem. Specifikācijā pietiek izmantot tikai vienu īpašību — stiepes stiprību vai statisko caursiti.

[c] Nepieciešams normatīvajos nolūkos (H), ja ir saistīts ar lietošanas apstākļiem (skatiet 4.2. punktu).

3-1.2. tabula. Metāliskie ar ģeotekstilu saistītie izstrādājumi, ko izmanto ceļu segās un asfalta pārklājkārtās – funkcijas, ar funkcijām saistītie raksturlielumi un izmantojamās testa metodes [45]

Raksturlielums	Testēšanas metode	Funkcija
		Stiegrojums
(1) Stiepes izturība		H
- tērauda stieples tīkls [a]		
- paralēli tīkla vērsumam	Pielikums D	
- šķērsām pret tīkla vērsumu	EN 10002-1	
- audums ar tērauda metinājumu [b]	EN ISO 15630-2	
(2) Pagarinājums ar maksimālo slodzi		H
- tērauda stieples tīkls		
- paralēli tīkla vērsumam	Pielikums D	
- šķērsām pret tīkla vērsumu	EN 10002-1	
- audums ar tērauda metinājumu	EN ISO 15630-2	
(3) Dinamiskā perforācija [c]	EN ISO 13433	--
(4) Statiskā caursites stiprība [c]	EN ISO 12236	--
(5) Izturība	Pielikums B3	H

Atbilstība

H: nepieciešams regulatīviem nolūkiem [1]

"- - " norāda, ka raksturlielums neattiecas uz šo funkciju.

[a] Kā definēts EN 10223-3.

[a] Kā definēts EN 10080.

[c] Šī testa raksturlielums nav piemērojams.

3.2. Izstrādājumu galvenās funkcijas

Ģeotekstilizstrādājumu un ar ģeotekstilu saistītu izstrādājumu pielietošana asfalta kārtās nodrošina šādas funkcijas:

- Stiegrojums (=R) – Funkcija, ko nodrošina ar ģeotekstilu saistīts izstrādājums kombinācijā ar vai bez ar bitumenu piesātinātu seguma audumu (mērķtiecīgi izveidots kompozītmateriāls), kas, ja ir pareizi uzstādīts starp ceļa virsmu un jaunu asfalta pārklājkārtu, pieļauj vieglas diferenciālas kustības starp diviem slāņiem un tādējādi nodrošina stiepes spēku absorbēšanu, kas aizkavē vai aptur plaisu veidošanos asfalta pārklājkārtā un ilgāku faktiskā asfalta biezuma noturēšanu [45].

- Atspriegošana (=STR) – Funkcija, ko nodrošina ar bitumu piesātināts seguma audums (neausts vai mērķtiecīgi izveidots kompozītmateriāls), kas, ja ir pareizi

uzstādīts starp ceļa virsmu un jaunu asfalta pārklājkārtu, pieļauj vieglas diferenciālas kustības starp diviem slāņiem un tādējādi nodrošina atspriegošanu, kas aizkavē vai aptur plaisu veidošanos asfalta pārklājkārtā [45].

- (starpslāņu) barjera (=B) – Funkcija, ko nodrošina seguma audumi un kas kopā ar bitumena slāni darbojas kā barjera pret ūdens iekļūšanu un tādējādi novērš vai aizkavē segas bojāšanos [45].

Galvenās funkcijas tiek atzīmētas uz ģeotekstilizstrādājuma un ar ģeotekstilu saistītā izstrādājuma iepakojuma CE marķējuma.

3-2.1. attēlā redzams, ka ģeotekstilizstrādājumu un ar ģeotekstilu saistītā izstrādājumu paredzētā lietošana ceļu segās un asfalta kārtās var būt viena no šīm:

- Stiegrojums (=R);
- Atspriegošana (=STR);
- (starpslāņu) barjera (=B);
- Stiegrojums, atspriegošana, (starpslāņu) barjera (=R+STR+B);
- Atspriegošana, (starpslāņu) barjera (=STR+B).

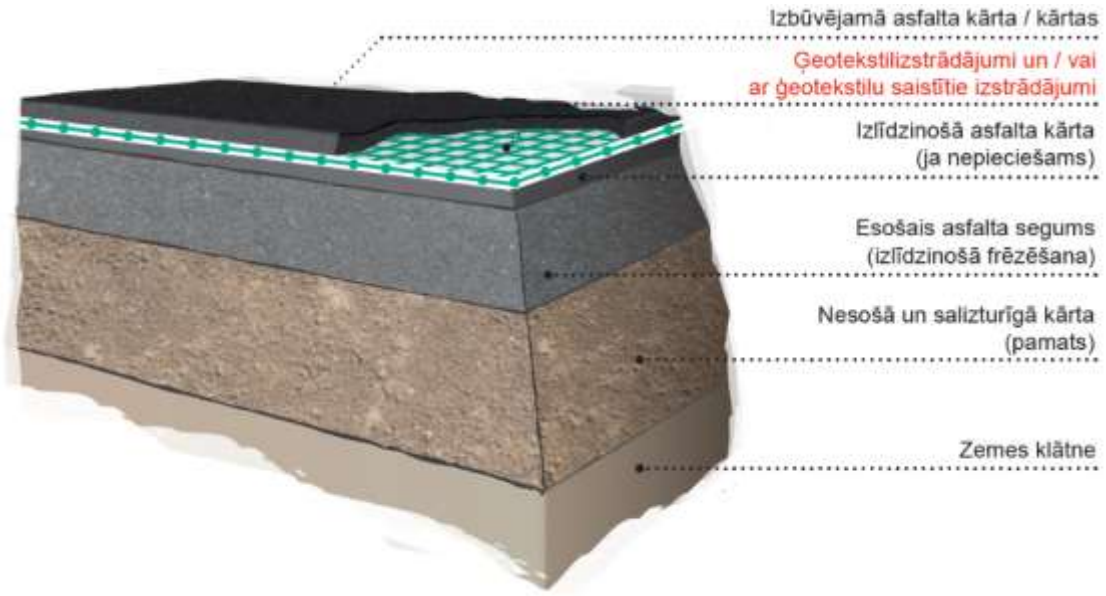
CE	CE atbilstības marķējums, ko veido direktīvā 93/68/EEK norādītais simbols "CE".
0123-CPD	Sertifikācijas iestādes identifikācijas numurs
Geo A	Izstrādājuma nosaukums un veids
GeoCo Ltd, PO Box 21, B-1050	Ražotāja nosaukums vai identifikācijas zīme un reģistrētā adrese
08	CE zīmes pievienošanas gada pēdējie divi cipari
0123-CPD-0456	FPC sertifikāta numurs
EN 15381:2008	Piemērojamā(-o) Eiropas standarta(-u) numurs(-i) (skatiet 1. PIEZĪMI)
Ģeotekstils ceļu segām un asfalta pārklājumam **Paredzētā lietošana: R, STR, B**	Izstrādājuma identifikācija un paredzētā lietošana (skatiet 2. PIEZĪMI)
Stiepes stiprība (EN ISO 10319): MD 50 kN/m (-2 kN/m) / CMD 50 kN/m (-2 kN/m) **Izstiepšana** **Izstiepšana** (EN ISO 10319): MD 5 % (+/- 1 %) / CMD 5 % (+/- 1 %) **Bitumena saturēšana** (C pielikums) 1,0 kg/m2 (+/- 0,2 kg/m2) **Noturība pret statisku caursiti** (EN ISO 12236): 1,2 kN (-0,1 kN) **Noturība pret dinamisku perforāciju** (EN ISO 13433): 8 mm (+1 mm) **Izturība:** – Jāpārklāj uzstādīšanas dienā – Noturība pret sārma ietekmi (% no atlikušās stiprības)	un informācija par regulētajiem raksturlielumiem Piemērs ar vērtībām — vidējā vērtība un pielaides vērtība (skatiet 3. PIEZĪMI)

3-2.1. attēls. Pievienotā CE marķējuma dokumenta piemērs [45]

3.3. Izmantošanas veidi ceļa segu konstrukcijās

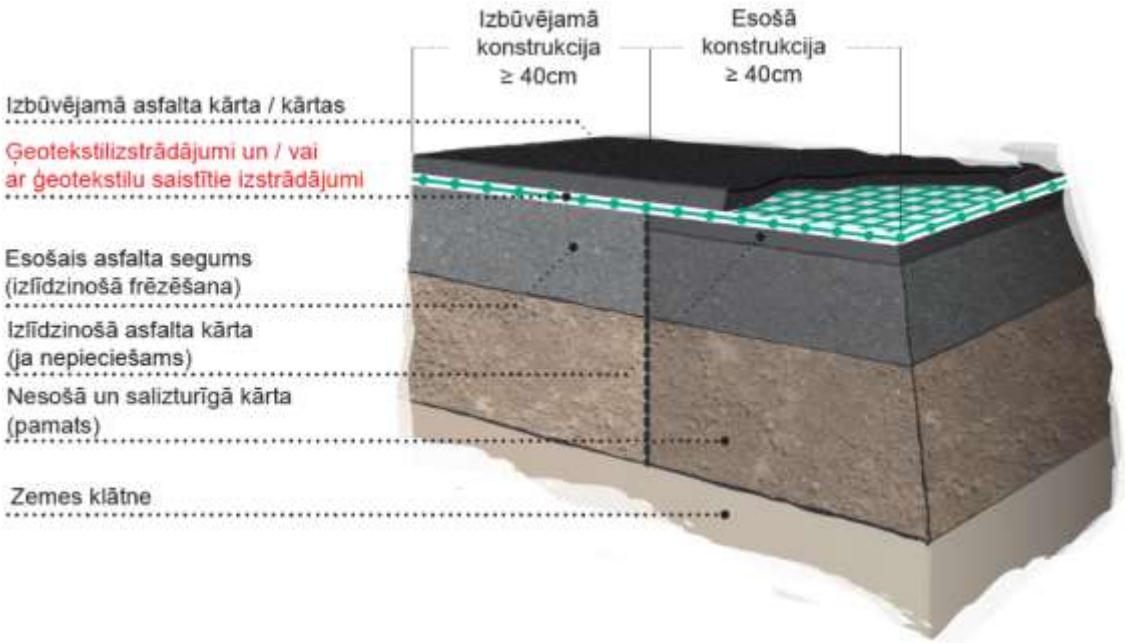
Ģeotekstilizstrādājumu un ar ģeotekstilu saistīto izstrādājumus asfalta segumos visbiežāk pielieto:

- Esošu asfalta segumu atjaunošanā;



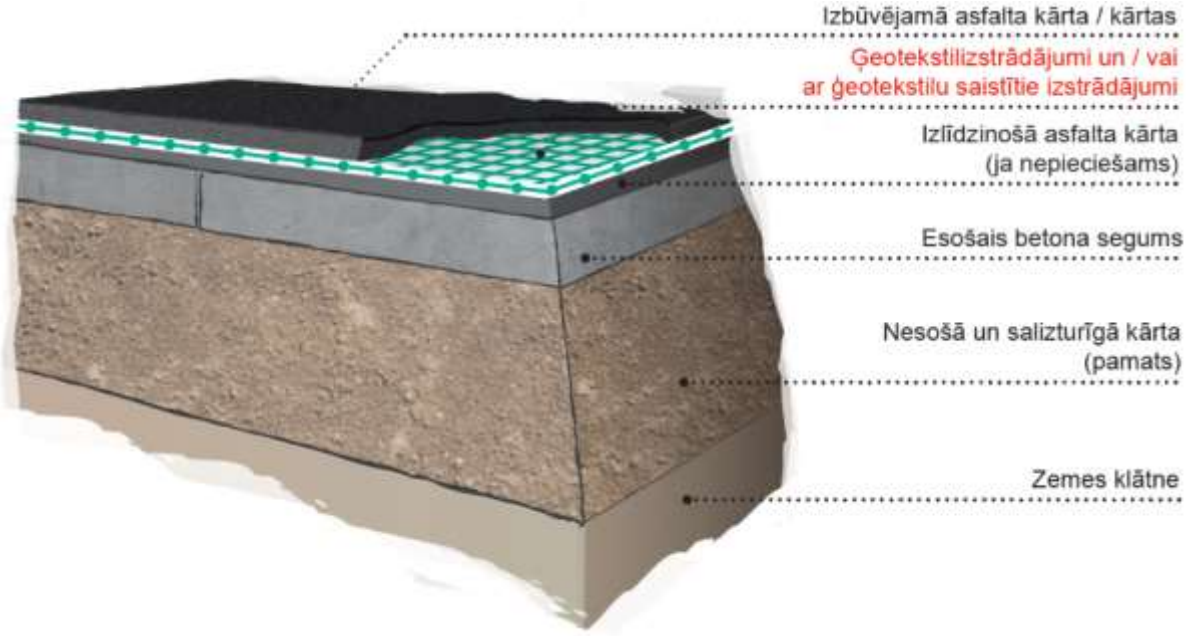
3-3.1. attēls. Ģeotekstilizstrādājumu un ar ģeotekstilu saistīto izstrādājumu izmantošana asfalta segumu atjaunošanā [49]

- Esošu asfalta segumu paplašinājumu izbūvē;



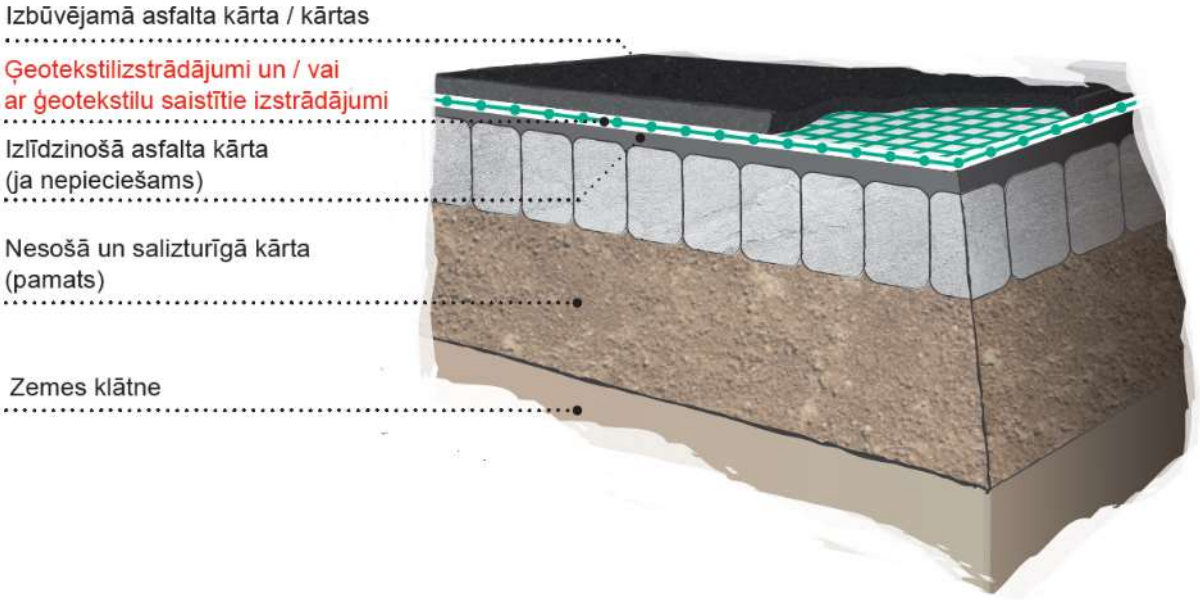
3-3.2. attēls. Ģeotekstilizstrādājumu un ar ģeotekstilu saistīto izstrādājumu izmantošana asfalta segumu paplašinājumu izbūvē [49]

∇ Betona segumu atjaunošanā;



3-3.3. attēls. Ģeotekstilizstrādājumu un ar ģeotekstilu saistīto izstrādājumu izmantošana betona segumu atjaunošanā [49]

∇ Bruģakmens segumu atjaunošanā;



3-3.4. attēls. Ģeotekstilizstrādājumu un ar ģeotekstilu saistīto izstrādājumu izmantošana bruģakmens segumu atjaunošanā [49]

3.4. Izstrādājumu galvenie tipi

Šobrīd pieejamos ģeotekstilizstrādājumus un ar ģeotekstilu saistītos izstrādājumus var iedalīt 5 tipos.

3.4.1. 1. Tips – Seguma audums

Seguma audums – augstas kvalitātes neausts ģeotekstils (ar svaru ≥ 130g/m^2), kuru ieklājot uz bitumena saistošā pārklājuma, nodrošina absorbējošas membrānas – starpslāņa (SAMI – Stress Absorbing Membrane Interlayer) funkciju un kavē augšup vērstu plaisāšanu, kas no apakšējās kārtas virzītos augšējā kārtā, veidojot atstarojošas noguruma vai termoplaisas.

3-4.1. attēls. Neausts ģeotekstils segumam

Funkcijas:

- Atspriegošana (=STR);
- (starpslāņu) barjera (=B).

3.4.2. 2. Tips – Zema profila ģeorežģi

Savstarpēji tehnoloģiski līmēti stiklašķiedras, karbona, poliestera u.c. materiālu ģeorežģi. Raksturīgs zems pagarinājums pie maksimālās slodzes, kā rezultātā materiāla stiprības robeža tiek sasniegta pie ļoti zema materiāla pagarinājuma un nelielām deformācijām. Pastiprinājumu nodrošina berze starp ieklāto ģeorežģi un izbūvēto nosedzošo asfalta kārtu.

3-4.2. attēls. Šķiedru ģeorežģi.

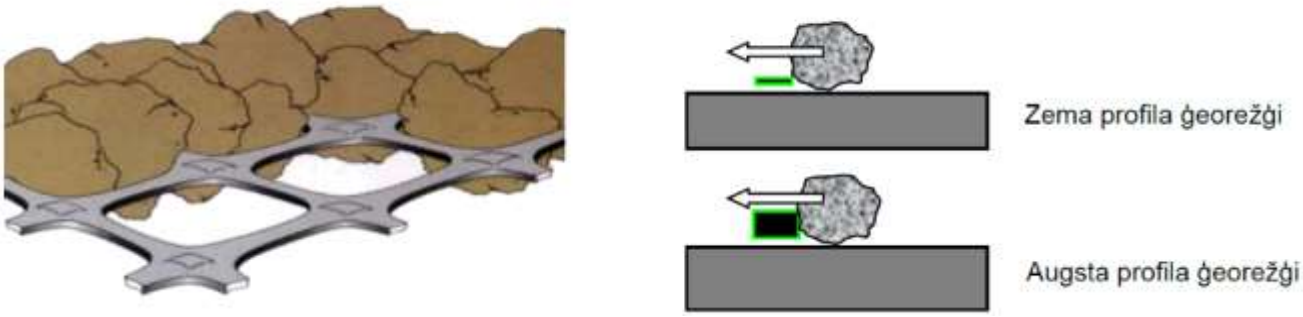
Funkcijas:

- Stiegrojums (=R).

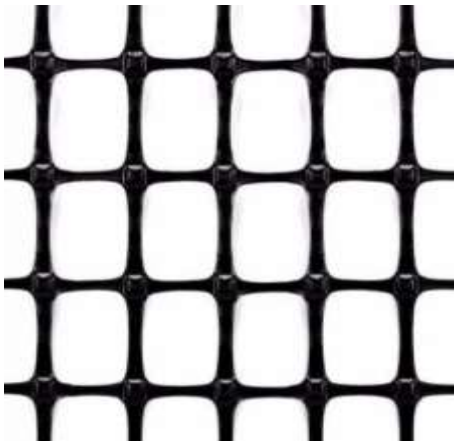
3.4.3. 3. Tips – Augsta profila ģeorežģi

Monolīti, viendabīgi polimēru ģeorežģi vai austi metāla sieti. Ģeorežģa profila trīsdimensionālā ģeometrija un izbūvējamā asfalta kārta mehāniski savienojas ģeorežģa profila atvērumā, nodrošinot efektīvu pastiprinājumu. 3-4.3. attēlā redzams, ka izbūvējamā asfalta kārta mehāniski efektīvāk savienojas ar augsta profila ģeorežģiem nekā ar zema profila ģeorežģiem. Šobrīd pieejamos augsta profila ģeorežģus var iedalīt 2 tipos:

- Augsta profila divasu ģeorežģis vai austs metāla siets (skatīt 3-4.4. attēlu);
- Augsta profila trīsasu (sešstūra) ģeorežģis vai austs metāla siets (skatīt 3-4.5. attēlu);



3-4.3. attēls. Zema un augsta profila ģeorežģa mehāniskā savienošanās ar asfalta maisījumu.



3-4.4. attēls. Augsta profila divasu ģeorežģis.

3-4.5. attēls. Augsta profila trīsasu (sešstūra) austs metāla siets.

Funkcijas:

- Stiegrojums (=R).

3.4.4. 4. Tips – Zema profila ģeokompozīti

Savstarpēji tehnoloģiski līmēti stiklašķiedras, karbona, poliestera u.c. materiālu ģeorežģi rūpnieciski savienoti ar neaustu ģeotekstilu. Ģeotekstils atvieglo ieklāšanu un nodrošina ilgtermiņa hidroizolācijas efektu. Raksturīgs zems pagarinājums pie maksimālās slodzes, kā rezultātā nodrošina augstu stiprību pie ļoti zema pagarinājuma.

3-4.6. attēls. Zema profila ģeorežģi rūpnieciski savienoti ar ģeotekstilu.

Funkcijas:

- Atspriegošana (=STR);
- (starpslāņu) barjera (=B);
- Stiegrojums (=R).

3.4.5. 5. Tips – Augsta profila ģeokompozīti

Monolīti, viendabīgi polimēru ģeorežģi rūpnieciski savienoti ar neaustu ģeotekstilu. Ģeotekstils atvieglo ieklāšanu un nodrošina ilgtermiņa hidroizolācijas efektu. Ģeorežģa profila trīsdimensionālā ģeometrija un izbūvējamā asfalta kārta mehāniski savienojas ģeorežģa profila atvērumā, nodrošinot efektīvu pastiprinājumu.

Šobrīd pieejamos augsta profila monolītos ģeorežģus rūpnieciski savienotus ar ģeotekstilu var iedalīt 2 tipos:

- Augsta profila monolīts divasu ģeorežģis rūpnieciski savienots ar ģeotekstilu (skatīt 3-4.7. attēlu);
- Augsta profila monolīts trīsasu (sešstūra) ģeorežģis rūpnieciski savienots ar ģeotekstilu, (skatīt 3-4.8. attēlu).

3-4.7. attēls. Augsta profila monolīts divasu ģeorežģis rūpnieciski savienots ar ģeotekstilu.

3-4.8. attēls. Augsta profila monolīts trīsasu (sešstūra) ģeorežģis rūpnieciski savienots ar ģeotekstilu.

3.4.6. Kopsavilkums

Zemāk attēlā apkopotas visu 5 ģeotekstilizstrādājumu un ar ģeotekstilu saistīto izstrādājumu tipu funkcijas atbilstoši LVS EN 15381.

FUNKCIJAS	1. TIPS	2. TIPS	3. TIPS	4. TIPS	5. TIPS
	ASFALTA ĢEOTEKSTILS	ZEMA PROFILA ĢEOREŽĢI	AUGSTA PROFILA ĢEOREŽĢI	ZEMA PROFILA ĢEOREŽĢI RŪPNIECISKI SAVIENOTI AR ĢEOTEKSTILU	AUGSTA PROFILA ĢEOREŽĢI RŪPNIECISKI SAVIENOTI AR ĢEOTEKSTILU
ATSPRIEGOŠANA (=STR)	●			●	●
STARPSLĀŅU BARJERA (=B)	●			●	●
STIEGROJUMS (=R)		●	●	●	●
MINIMĀLAIS ASFALTA PIRMĀS KĀRTAS IZBŪVES BIEZUMS	≥4cm	≥4cm	≥6cm	≥4cm	≥6cm

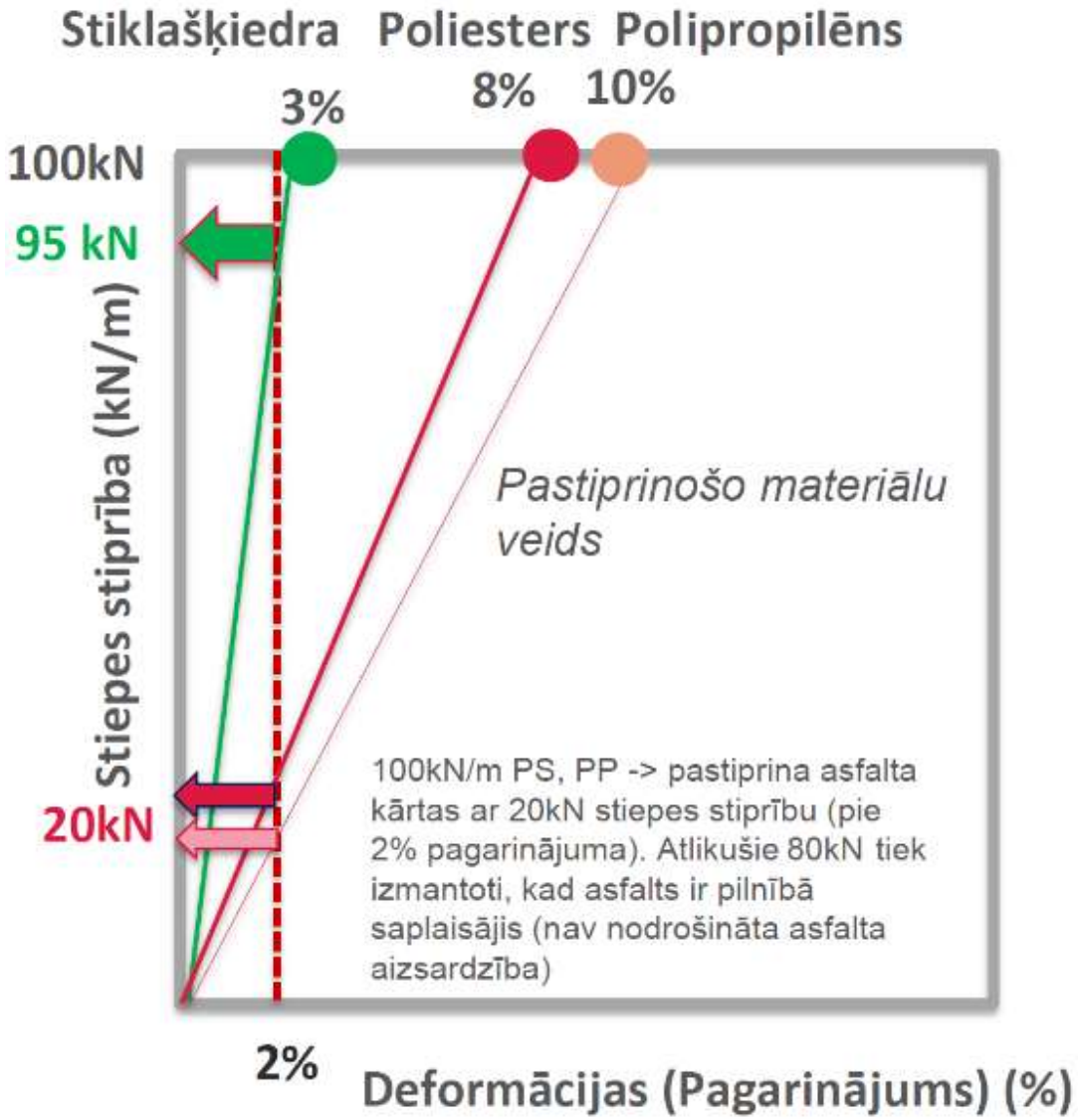
3-4.9. attēls. Ģeotekstilizstrādājumu un ar ģeotekstilu saistīto izstrādājumu funkcijas atbilstoši LVS EN 15381.

3-4.9. attēlā redzams:

- 1. tips nodrošina atspriegošanas (=STR) un (starpslāņu) barjeras (=B) funkcijas;
- 2. un 3. tips nodrošina tikai stiegrojuma (=R) funkciju;
- 4. un 5. tips nodrošina atspriegošanas (=STR), (starpslāņu) barjeras (=B) un stiegrojuma (=R) funkcijas. Tas izskaidrojams ar to, ka pēc būtības 4. tips ir 1. un 2. tipa apvienojums, savukārt 5. tips ir 1. un 3. tipa apvienojums, rezultātā tiek apvienotas arī to funkcijas.
- Kā redzams attēlā, tad minimālais asfalta pirmās kārtas izbūves biezums ≥4cm pieļaujams 1. 2. un 4. tipam, savukārt asfalta pirmās kārtas izbūves biezums ≥6cm pieļaujams 3. un 5. tipam. Tas izskaidrojams ar ģeotekstilizstrādājumu un ar

ģeotekstilu saistītu izstrādājumu biezumu (profila augstumu). Jo augstāks izstrādājuma profils, jo biezāka asfalta pirmās izbūves kārta.

3-4.10. attēlā redzami ģeotekstilizstrādājumu un ar ģeotekstilu saistīto izstrādājumu materiālu stiepes stiprības un pagarinājumu rādītāji. Attēlā redzams 3 materiālu – stiklašķiedras, poliestera un polipropilēna salīdzinājums. Stiklašķiedrai raksturīgs zems pagarinājums pie maksimālās slodzes, kā rezultātā materiāla stiprības robeža tiek sasniegta pie ļoti zema materiāla pagarinājuma un nelielām deformācijām, savukārt poliestera un polipropilēna materiāli ir raksturojami ar lielākiem pagarinājumiem pie salīdzinoši mazākiem stiepes stiprības rādītājiem.

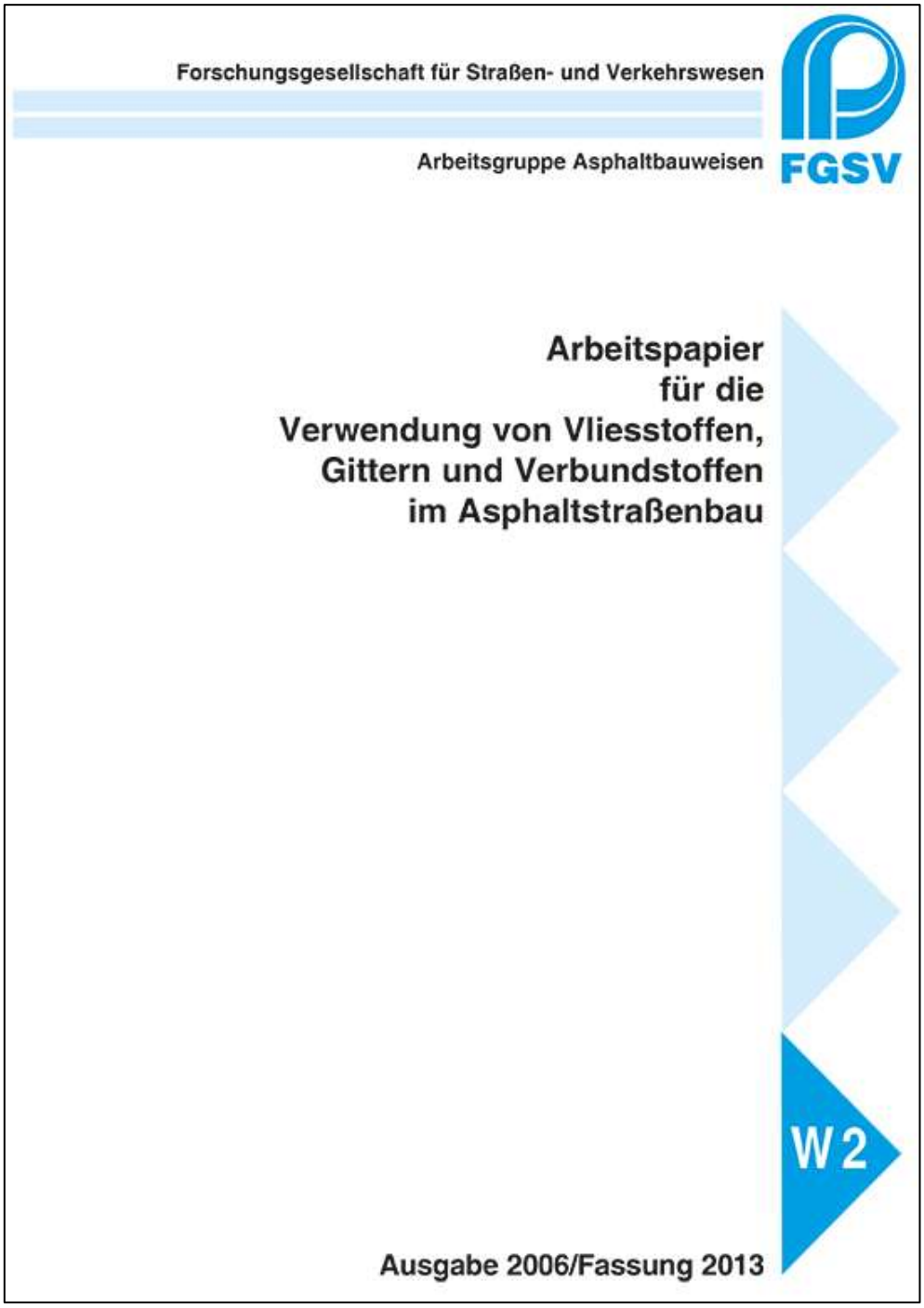


3-4.10. attēls. Ģeotekstilizstrādājumu un ar ģeotekstilu saistīto izstrādājumu materiālu stiepes stiprības un pagarinājumu rādītāji [Kļūda! Nav atrasts atsauces avots.]

3.5. Ārvalstu normatīvā bāze

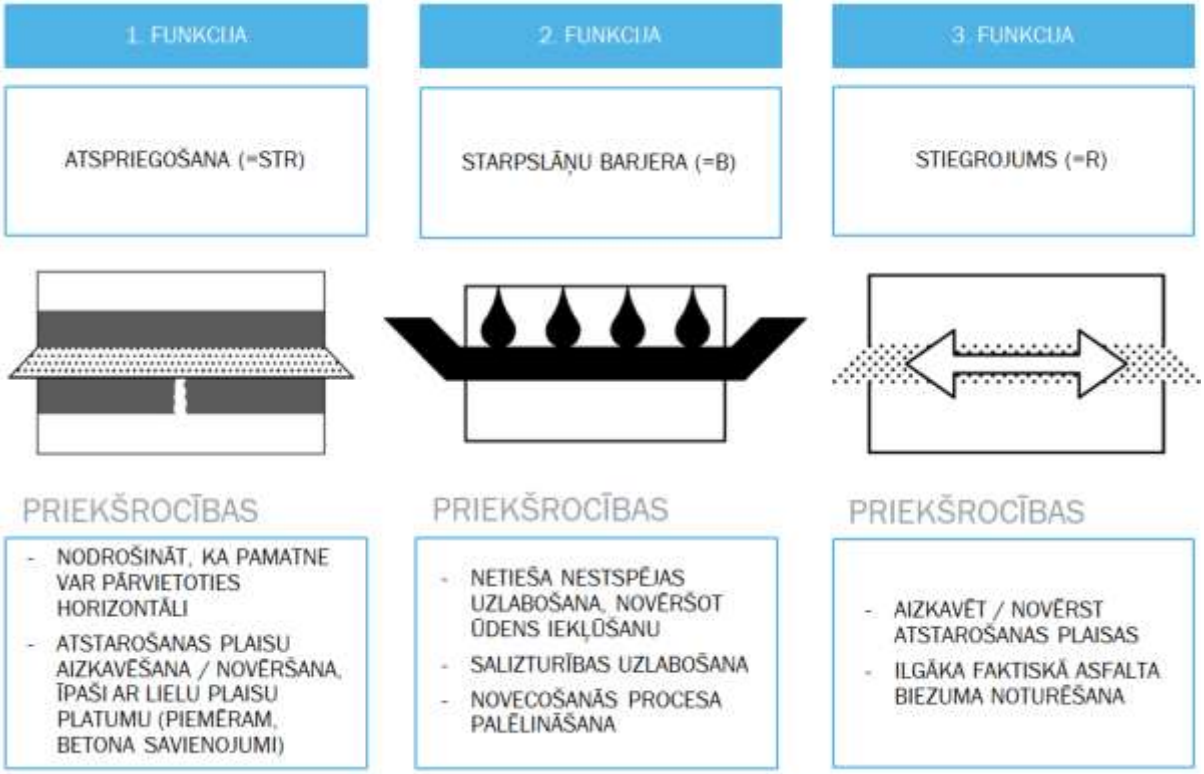
3.5.1. Vācija

Vācijā tiek izmantots dokuments FGSV770 “Arbeitspapier für die Verwendung von Vliesstoffen, Gittern und Verbund stoffen im Asphaltstraßenbau”, dokuments neaustu ģeotekstilu, ģeorežģu un ģeokompozītu izmantošanai asfalta ceļu būvē.



3-5.1. attēls. Dokuments FGSV770 - Dokuments neaustu ģeotekstilu, ģeorežģu un ģeokompozītu izmantošanai asfalta ceļu būvē (Vācija) [46]

Ģeotekstilizstrādājumiem un ar ģeotekstilu saistītiem izstrādājumiem atbilstoši DIN EN 1538 tāpat kā LVS EN 15381 izdala 3 galvenās funkcijas:



3-5.2. Asfalta ģeosintētisko materiālu 3 galvenās funkcijas atbilstoši DIN EN 15381. [47]

Ģeotekstilizstrādājumi un ar ģeotekstilu saistīti izstrādājumi, kas šobrīd tiek izmantoti Vācijā, tiek iedalīti 3 tipos [46], [47].

<u>1. Tips – Neausts ģeotekstils</u>

Neausts ģeotekstils (ģeotekstilizstrādājums)

3-5.3. attēls. Neausts ģeotekstils [47]

Funkcijas:

- Atspriegošana (=STR);
- (starpslāņu) barjera (=B).

Zemāk 3-5.1. tabulā norādītas prasības, testa metodes un noteiktās vērtības

3-5.1. tabula. Neausta ģeotekstila prasības, testa metodes un noteiktās vērtības [46]

Nr.	Eigenschaft / **Raksturlielumi**	Prüfverfahren / **Testa metode**	Einheit / **Vienība**	Richtwerte / **Vērtība**
1	Masse pro Flächeneinheit **Svars**	DIN EN ISO 9864	g/m²	≥ 130
2	Dicke **Biezums**	DIN EN ISO 9863-1 und -2	mm	0.5 BIS 5
3	Höchstzugkraft **Stiepes stiprība**	DIN EN ISO 10319	kN/m	≥ 9
4	Höchstzugkraftdehnung **Pagarinājums pie max slodzes**	DIN EN ISO 10319	%	≤ 55
5	Durchdrückverhalten [1)] **Statiskās caurdures tets (CBR) [1)]**	DIN EN ISO 12236	kN	IA
6	Durchschlagverhalten [1)] **Dinamiskais caursišanas tests**	DIN EN ISO 13433	mm	IA
7	Beschädigung beim Einbau [2)] **Bojājumi izbūves laikā [2)]**	DIN EN ISO 10722	%	IA
8	Bitumenaufnahme **Bitumena saturēšana**	DIN EN 15381, Anhang C	kg/m²	IA
9	Witterungsbeständigkeit **Noturība pret laikapstākļu ietekme**	DIN EN 12224	%	≥ 60
10	Alkalibeständigkeit **Sārma pretestība**	ISO/TR 12960, DIN EN 14030	%	≥ 50
11	Schmelzpunkt **Kušanas punkts**	DIN EN ISO 3146	°C	≥ 160
12	Schichtenverbund, Abscherverhalten **Slāņa saiste, bīdes izturība**	TP Asphalt-StB, Teil 80	kN	≥ 10
13	Umweltunbedenklichkeit **Videi nekaitīgs**	M Geok E, Ausgabe 2005, Abschnitte 3.1, 6.28 und 7.		[3)]

Skaidrojumi:

IA = ir jādeklarē

[1)] Pārbaude ir nepieciešama Eiropas standartos. Bet vēl nav prasību;

[2)] Pārbaude ir nepieciešama Eiropas standartos. Pašlaik tiek izstrādātas testa metodes dažādām lietojumprogrammām. Vēl nav prasību;

[3)] Ir jāpierāda.

2. Tips – Ģeorežģi un ģeorežģi ar papildslāni ieklāšanas nodrošināšanai

Ģeorežģi un ģeorežģi ar plānu papildslāni ieklāšanas nodrošināšanai. Papildslānis neveic nevienu no 3 izdalītajām funkcijām.

3-5.4. attēls. Ģeorežģi un ģeorežģi ar plānu papildslāni ieklāšanas nodrošināšanai [47]

Funkcijas:

- Stiegrojums (=R);

Zemāk 3-5.2. tabulā norādītas prasības, testa metodes un noteiktās vērtības

3-5.2. tabula. Ģeorežģa un ģeorežģa ar plānu papildslāni prasības, testa metodes un noteiktās vērtības [46]

Nr.	Eigenschaft / **Raksturlielumi**	Prüfverfahren / **Testa metode**	Einheit / **Vienība**	Richtwerte / **Vērtība**
1	Masse pro Flächeneinheit **Svars**	DIN EN ISO 9864	g/m²	≥ 200
2	Maschenweite/Gitteröffnungsweite **Režģa atvēruma izmērs**	TL Geok E-StB 05, Abschnitt 2	mm	≥ 10
3	Höchstzugkraft längs/quer **Stiepes stiprība gar. / šķērs.**	DIN EN ISO 10319	kN/m	≥ 20/20
4	Höchstzugkraftdehnung **Pagarinājums pie max slodzes**	DIN EN ISO 10319	%	≤ 15
5	Beschädigung beim Einbau [1)] **Bojājumi izbūves laikā [1)]**	DIN EN ISO 10722	%	IA
6	Schichtenverbund **Slāņa saiste**	TP Asphalt-StB, Teil 80	kN	≥ 10
7	Witterungsbeständigkeit **Noturība pret laikapstākļu ietekmi**	DIN EN 12 224	%	≥ 60
8	Alkalibeständigkeit **Sārma prestestība**	ISO/TR 12960, DIN EN 14030	%	≥ 50
9	Schmelzpunkt [2)] **Kušanas punkts [2)]**	DIN EN ISO 3146	°C	≥ 160
10	Umweltunbedenklichkeit **Videi nekaitīgs**	M Geok E, Ausgabe 2005, Abschnitte 3.1, 6.28 und 7.6		[3)]

Skaidrojumi:

IA = ir jādeklarē

1) Pārbaude ir nepieciešama Eiropas standartos. Pašlaik tiek izstrādātas testa metodes dažādām lietojumprogrammām. Vēl nav prasību;
2) Atsevišķa verifikācija nepieciešama lietošanai zem šķembu mastikas asfalta;
3) Ir jāpierāda.

3. Tips – Ģeorežģis ar ģeotekstilu

Ģeorežģis ar ģeotekstilu.

3-5.5. attēls. Ģeorežģis ar ģeotekstilu [47]

Funkcijas:

- Atspriegošana (=STR);
- (starpslāņu) barjera (=B).
- Stiegrojums (=R)

3-5.3. tabulā norādītas prasības, testa metodes un noteiktās vērtības

3-5.3. tabula. Ģeorežģa ar ģeotekstilu prasības, testa metodes un noteiktās vērtības [46]

Nr.	Eigenschaft / **Raksturlielumi**	Prüfverfahren / **Testa metode**	Einheit / **Vienība**	Richtwerte / **Vērtība**
1	Masse pro Flächeneinheit – gesamt **Kopējais svars**	DIN EN ISO 9864	g/m²	≥ 300
2	Masse pro Flächeneinheit – Vliesstoff **Ģeotekstila svars**	DIN EN ISO 9864	g/m²	≥ 130
3	Dicke **Biezums**	DIN EN ISO 9863-1 und -2	mm	1 BIS 2
4	Maschenweite/Gitteröffnungsweite **Režģa atvērums izmērs**	TL Geok E-StB 05, Abschnitt 2	mm	≥ 10
5	Höchstzugkraft längs/quer **Stiepes stiprība gar. / šķērs.**	DIN EN ISO 10319	kN/m	≥ 20/20
6	Höchstzugkraftdehnung **Pagarinājums pie max slodzes**	DIN EN ISO 10319	%	≥ 2 und ≤ 15
7	Durchdrückverhalten [1)] **Statiskās caurdures tets (CBR) [1)]**	DIN EN ISO 12236	kN	IA
8	Durchschlagverhalten [1)] **Dinamiskais caursišanas tests [1)]**	DIN EN ISO 13433	mm	IA
9	Beschädigung beim Einbau [2)] **Bojājumi izbūves laikā [2)]**	DIN EN ISO 10722	%	IA
10	Bitumenaufnahme **Bitumena saturēšana**	DIN EN 15381, Anhang C	kg/m²	IA
11	Witterungsbeständigkeit **Noturība pret laikapstākļu ietekme**	DIN EN 12224	%	≥ 60
12	Alkalibeständigkeit **Sārma pretestība**	ISO/TR 12960, DIN EN 14030	%	≥ 50
13	Schmelzpunkt [3)] **Kušanas punkts [3)]**	DIN EN ISO 3146	°C	≥ 160
14	Schichtenverbund, Abscherverhalten **Slāņa saiste, bīdes izturība**	TP Asphalt-StB, Teil 80	kN	≥ 10
15	Umweltunbedenklichkeit **Videi nekaitīgs**	M Geok E, Ausgabe 2005, Abschnitte 3.1, 6.28 und 7.6		[4)]

IA = ir jādeklarē

[1)] Pārbaude ir nepieciešama Eiropas standartos. Bet vēl nav prasību;

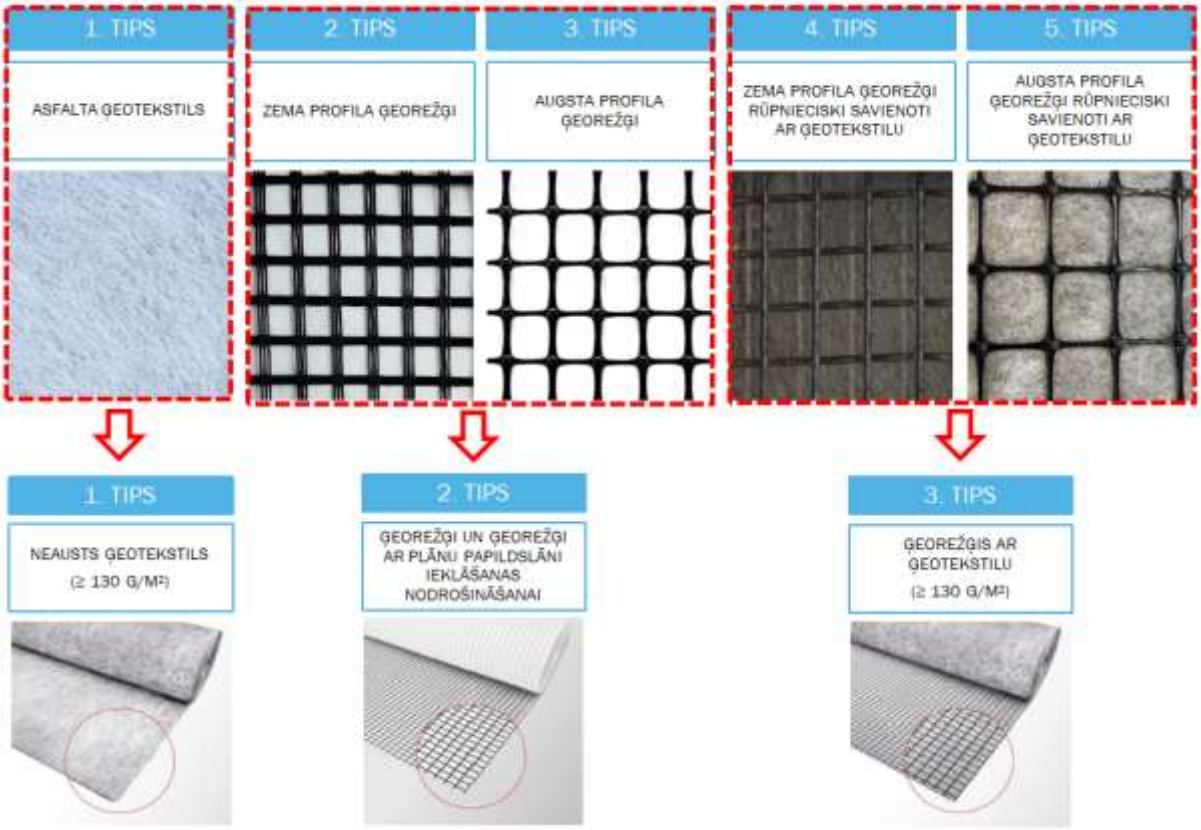
[2)] Pārbaude ir nepieciešama Eiropas standartos. Pašlaik tiek izstrādātas testa metodes dažādām lietojumprogrammām. Vēl nav prasību;

[3)] Atsevišķa verifikācija nepieciešama lietošanai zem šķembu mastikas asfalta;

[4)] Ir jāpierāda.

<u>Kopsavilkums</u>

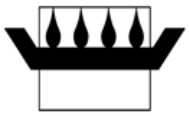
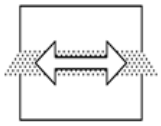
Šobrīd pieejamos asfalta ģeosintētiskos materiālus apvieno 3 tipos (grupās):



3-5.6. attēls. Pieejamo asfalta ģeosintētisko materiālu apvienošana 3 tipos (grupās).

3-5.6. attēlā redzams, ka Vācijā asfalta ģeotekstils tiek izdalīts atsevišķā tipā kā neausts ģeotekstils (1. Tips), ģeorežģi un ģeorežģi ar plānu papildslāni ieklāšanas nodrošināšanai ir apvienoti vienā tipā (2. Tips), savukārt ar ģeotekstilu rūpnieciski savienoti šķiedru ģeorežģi un monolīti augsta profila ģeorežģi ir apvienoti vienā tipā kā ģeorežģis ar ģeotekstilu (3. tips).

Zemāk 3-5.7. attēlā apkopotas visu 3 ģeotekstilizstrādājumu un ar ģeotekstilu saistīto izstrādājumu tipu funkcijas atbilstoši DIN EN 15381.

FUNKCIJAS	1. TIPS NEAUSTS ĢEOTEKSTILS	2. TIPS ĢEOREŽĢI UN ĢEOREŽĢI AR PAPILDSLĀNI IEKLĀŠANAS NODROŠINĀŠANAI	3. TIPS ĢEOREŽĢI AR ĢEOTEKSTILU
ATSPRIEGOŠANA (=STR)	●		●
			
STARPSLĀŅU BARJERA (=B)	●		●
			
STIEGROJUMS (=R)		●	●

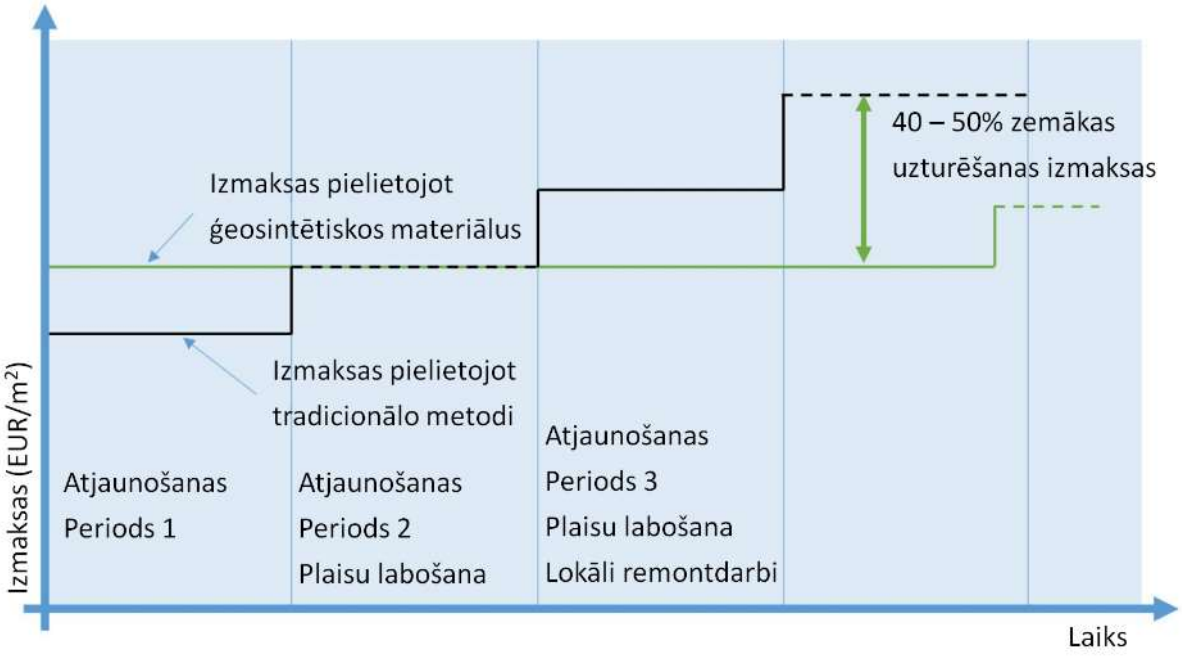
3-5.7. attēls. Ģeotekstilizstrādājumu un ar ģeotekstilu saistīto izstrādājumu funkcijas atbilstoši DIN EN 15381.

3-5.7. attēlā redzams:

- 1. tips nodrošina atspriegošanas (=STR) un (starpslāņu) barjeras (=B) funkcijas;
- 2. tips nodrošina tikai stiegrojuma (=R) funkciju;
- 3. tips nodrošina atspriegošanas (=STR), (starpslāņu) barjeras (=B) un stiegrojuma (=R) funkcijas. Tas izskaidrojams ar to, ka pēc būtības 3. tips ir 1. un 2. tipa apvienojums, rezultātā tiek apvienotas arī to funkcijas.

Ģeosintētisko materiālu izmantošanas ieguvumi :

- Pagarināts būves kalpošanas laiks;
- Pielietojot ģeosintētiskos materiālus, parasti tiek izmantots palielināts saistvielu daudzums, kas nodrošina augstāku asfalta kārtu saķeri pēc Leutnera testa metodes;
- Ceļa posma uzturēšanas izmaksu ietaupījums;



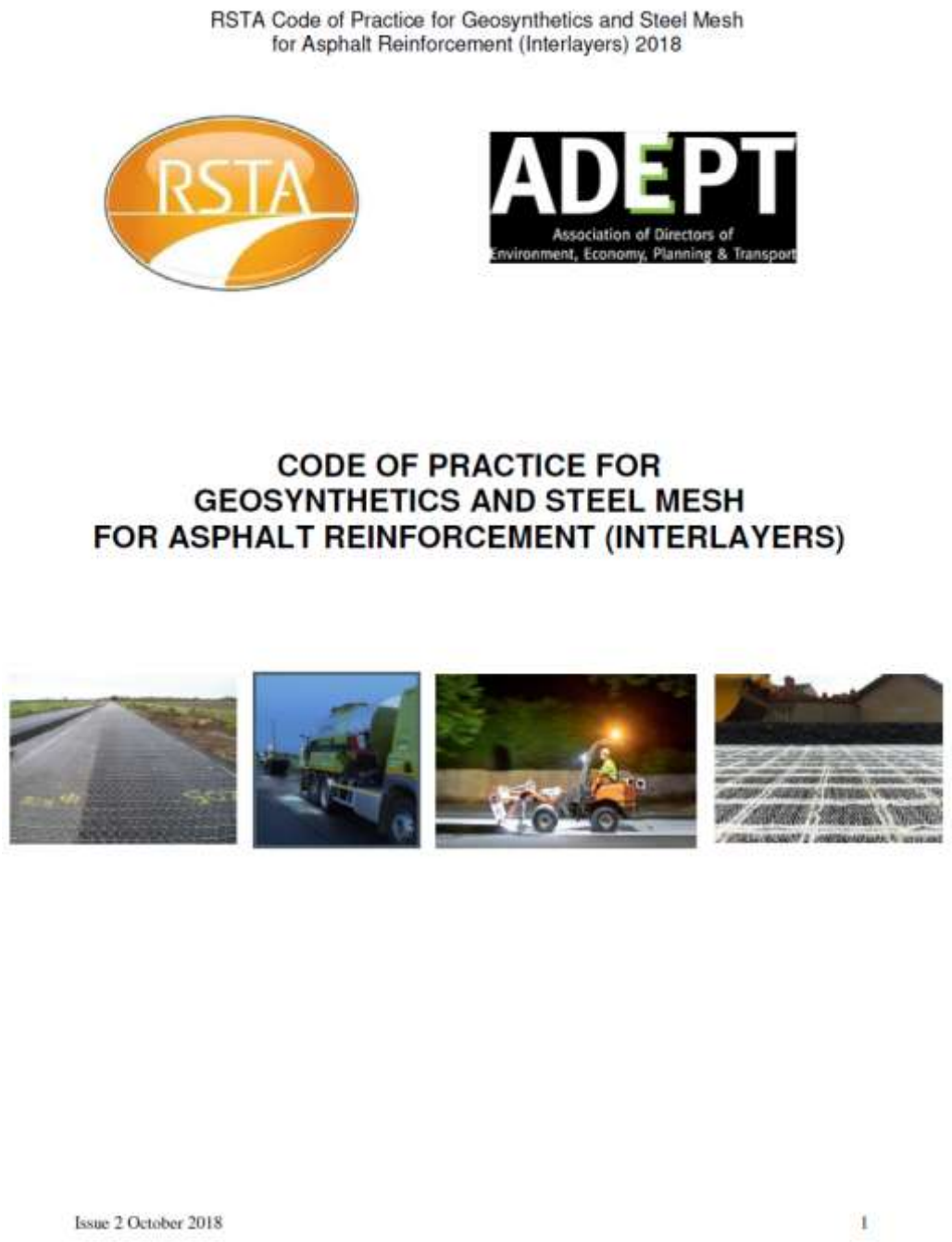
3-5.8. attēls. Ekonomiskais ieguvums būvniecībā un uzturēšanā ar un bez ģeosintētisko materiālu pielietošanas [47]

- Samazināts būvlaukumu skaits, saīsināts būvdarbu veikšanas laiks un ekonomisko zaudējumu, ko rada satiksmes ierobežojumi būvdarbu laikā, samazināšana. Sevišķi svarīgi intensīvas ceļu satiksmes posmos;
- Pagarinot kalpošanas, laiku tiek nodrošināta mazāka materiālu un resursu izmantošana;
- Izbūvējot asfalta ģeosintētiskos materiālus, ievērojami samazinās gaisa piesārņojuma emisijas, piemēram, oglekļa dioksīda un slāpekļa oksīdu, kā arī samazinās enerģijas patēriņš;
- Pozitīvais ieguldījums klimata aizsardzībā arvien vairāk tiek iekļauts būvdarbu veikšanas vērtēšanā un nodokļu atlaižu aprēķinā.

3.5.2. Lielbritānija

Lielbritānijā pieejams dokuments “Code Of Practice For Geosynthetics And Steel Mesh For Asphalt Reinforcement (Interlays)”, ko izstrādājusi Ceļu virsmas apstrādes asociācijas (Road Surface Treatment Association - RSTA) ģeosintētikas un tērauda sietu komiteja, lai nodrošinātu ceļu administrācijām, projektētājiem un galvenajiem būvuzņēmējiem pilnīgu izpratni par asfalta pastiprinājumiem, to izmantošanu, ieklāšanas paņēmieniem un

pielietojumu. Dokumentā ietvertā informācija ir paredzēta, lai atspoguļotu nozares labāko praksi.


RSTA Code of Practice for Geosynthetics and Steel Mesh
for Asphalt Reinforcement (Interlayers) 2018

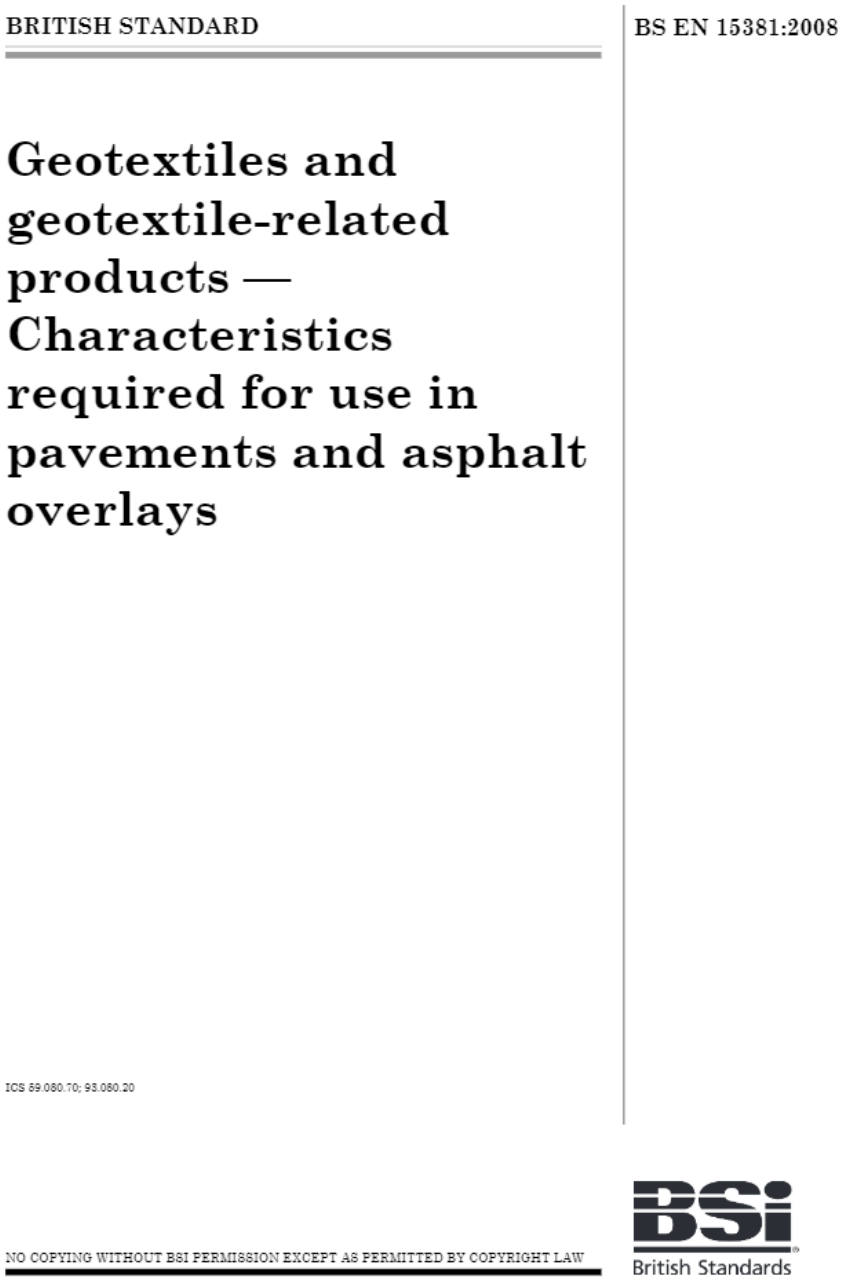
CODE OF PRACTICE FOR
GEOSYNTHETICS AND STEEL MESH
FOR ASPHALT REINFORCEMENT (INTERLAYERS)

Issue 2 October 2018 1

3-5.9. Lielbritānijā pielietotais prakses kodekss [56]

Dokumentā dota atsauce uz standartu BS EN 15381 "Geotextiles and Geotextile Related Products – characteristics required for use in pavements and asphalt overlays.", kas ir Eiropas standarta EN 15381 britu versija, un ADEPT (Vides, ekonomikas, plānošanas un transporta direktoru asociācija) dokumentu "Norādījumi seguma audumu un režģu

izmantošanai asfalta pastiprināšanai" ("Guidance on the use of paving fabrics and grids as asphalt reinforcement").



BRITISH STANDARD

BS EN 15381:2008

Geotextiles and geotextile-related products — Characteristics required for use in pavements and asphalt overlays

ICS 59.080.70; 93.080.20

NO COPYING WITHOUT BSI PERMISSION EXCEPT AS PERMITTED BY COPYRIGHT LAW

British Standards

3-5.10. Lielbritānijā pielietotais Eiropas standarts BS EN 15381

Prakses kodekss ir galvenokārt domāts, lai novērstu seguma defektus, ko izraisa atstarojošā plaisāšana. Sabrukums un degradācija no šādiem cēloņiem netiek apskatīta:

- Asfalta novecošana;
- Pamata nestspējas zudums un ar to saistītā risu veidošanās;

- Risu veidošanās no paliekošām asfalta deformācijām;

Galvenie norādītie ieguvumi:

- Aizkavēta atstarojošo plaisu attīstība;
- Ilgāks seguma kalpošanas laiks;
- Samazināti uzturēšanas darbu pārtraukumi;
- Samazināta ietekme uz vidi, kas saistīta ar ilgākiem uzturēšanas darbu intervāliem;
- Samazinātas netiešās izmaksas ekonomikai un iedzīvotājiem ar retākiem satiksmes ierobežojumiem;
- Samazinātas oglekļa emisijas.

Detalizētāk, asfalta starpkārtas konstrukcijās var nodrošināt šādus pozitīvus efektus ar to dažādām funkcijām vai ar to funkciju sekundāru efektu:

- Atstarojošo plaisu samazināšana un strukturāli uzlabojumi, izmantojot pastiprināšanas vai atspriegošanas funkciju;
- Samazināta ūdens iekļūšana saistītajās un nesaistītajās kārtās ar (starpslāņu) barjeras funkciju;
- Var palielināt saistīto kārtu stingumu virs starpkārtas ar stiegrojuma funkciju;
- Var uzlabot adhēziju starp asfalta kārtām.

Paaugstināts stingums, strukturāli uzlabojumi un ūdens iekļūšanas mazināšana var samazināt saistīto kārtu nogurumu virs asfalta starpkārtas, kas noved ne tikai pie atstarojošo plaisu, bet arī no augšas uz leju plaisāšanas samazināšanas.

Izdalīti šādi starpkārtu tipi:

1) <u>Seguma audumi</u> - neausts ģeotekstils, ko izmanto asfalta seguma konstrukcijā, kopā ar pietiekamu bitumena daudzumu nodrošina barjeras un atspriegošanas funkcijas. To var izmantot kā atsevišķu elementu vai kā daļu no ģeokompozīta (seguma audums piestiprināts pie režģa). Lai nodrošinātu atbilstošu veiktspējas līmeni un kalpošanas laiku attiecībā uz tā funkcijām, nominālais svars ir definēts kā ≥130 g/m² (saskaņā ar ISO 9864) un bitumena paturēšana (saskaņā ar EN 15381 C pielikumu) ir definēta kā ≥ 1,1 kg/m². Nodrošinātās funkcijas: (starpslāņu) barjera (=B), Atspriegošana (=STR) [56].

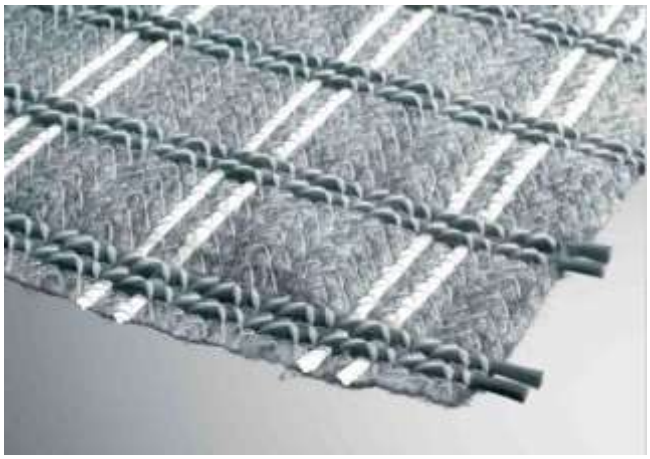
3-5.11. Seguma audumi [56].

2) Seguma režģi - tiek izmantoti asfalta seguma konstrukcijā, lai nodrošinātu seguma pastiprināšanu. Tos var izmantot kā atsevišķu režģa elementu vai kā režģi, kas piestiprināts pie uzstādīšanas palīglīdzekļa. Režģis var sastāvēt no krustojošiem elastīgu šķiedru pavedieniem, kas izgatavoti no minerāliem vai polimēru materiāliem (piemēram, stikls, PES, PVA, ogleklis), vai arī tas var sastāvēt no stingrām atverēm, augsta profila ribām un slodzes pārvades savienojumiem, kas izgatavoti no metāla vai polimēru materiāliem (piemēram, tērauda vai caurdurti un izstiepti PP režģi). Nodrošinātā funkcija: Stiegrojums (=R) [56].

3-5.12. Seguma režģi [56].

Uzstādīšanas palīglīdzeklis: tas ir piestiprināts seguma režģim, lai atvieglotu uzstādīšanas procesu dažādos veidos. Tas var sastāvēt no neausta auduma (<130 g/m²), papildu šķiedrām režģa atverēs vai plānas folijas. Uzstādīšanas palīglīdzeklis var palielināt kontakta laukumu produktu pie apakškārtas, lai panāktu labāku saķeri un drošu seguma ieklāšanu. Plāna folija, kas piestiprināta pie režģa, gadījumā tiek samazināta ruļļa saķere vieglākai produkta ieklāšanai [56].

3) Ģeokompozīts - tiek izmatots asfalta seguma konstrukcijā, lai kopā ar atbilstošu bitumena daudzums nodrošinātu starpslāņu barjeras, atspriegošanas un stiegrojuma funkcijas. Tas sastāv no režģa, kas piestiprināts pie seguma auduma. Nodrošinātās funkcijas: (starpslāņu) barjera (=B), Atspriegošana (=STR), Stiegrojums (=R).



3-5.13. Ģeokompozīts [56].

4) Austi stiepļu tīkli - tērauda pastiprinošs pārklājums saplaisājušiem vai deformējušajiem ceļiem. Austs stiepļu tīkls, izgatavots no smagas cinkotas tērauda stieples, regulāri pastiprināti ar šķērseniskiem savītiem tērauda stieņiem, kas ieausti sietā. Nodrošinātā funkcija: Stiegrojums (=R) [56].

3-5.14. Austi stiepļu tīkli [56].

Starpkārtu materiālu tipi un to nodrošināto funkciju kopsavilkums dots 3-5.4. tabulā.

3-5.4. tabula. Starpkārtu materiālu tipi un to nodrošinātā funkcija [56].

Materiāla tips	Nodrošinātā funkcija		
	(starpslāņu) barjera (=B)	Atspriegošana (=STR)	Stiegrojums (=R)
Seguma audums	X	X	
Seguma režģis			X
Ģeokompozīts	X	X	X
Austi stiepļu tīkli			X

Kvalitātes nodrošināšanai, visiem iepriekš minētajiem produktiem jābūt ražotiem ar kvalitātes kontroles sistēmu, kas atbilst ISO 9001 prasībām un jābūt ar CE marķējumu atbilstoši BS EN 15381.

Objekta apstākļi un to novērtējums

Pirms asfalta starpkārtas risinājuma piedāvāšanas katrs projekts ir rūpīgi jānovērtē un jāapkopo informācija par dažādiem objektam specifiskiem apstākļiem. Var būt gadījumi, kad pastāv problēmas, kuru atrisināšanai būs priekšroka cita veida atjaunošanas darbiem attiecībā pret asfalta starpkārtām [56].

Objekta novērtējums ir ļoti svarīgs aspekts, ja izmanto ģeosintētiku un/vai tērauda sietu, lai sasniegtu nepieciešamo gala rezultātu un ieguvumu. Uz esošā seguma nedrīkst būt pacēluma, pārmērīgu pārvietojumu vai pamata nestabilitātes pazīmes. Lai maksimāli izmantotu starpkārtas priekšrocības, segas konstrukcijām ir jābūt stabilam pamatam. Ja segas konstrukcija ir nestabila, projektētājam vispirms jāatrisina segas konstrukcijas pamata nestspējas problēmas un tikai tad asfalta seguma risinājumi [56].

Kā vispārīgs apsvērums, kas saistīts ar visām segas konstrukcijām, ir brauktuvju stāvokļa pasliktināšanās ūdens ietekmē. Gruntsūdens līmeņa un ūdens novades problēmām jābūt identificētām un atrisinātām pirms seguma atjaunošanas darbiem, lai novērstu priekšlaicīgu sabrukumu [56].

Izvēloties kādu no produktiem, ir jāveic esošās situācijas novērtējums objektā un jāņem vērā šādi jautājumi:

- Kāds ir sabrukuma un plaisāšanas mehānisma galvenais veids un kā piedāvātais produkts to novērsīs?
- Kādas ir nepieciešamās un specificējamās asfalta starpkārtas mehāniskās un izturības īpašības?
- Kā asfalta starpkārta mijiedarbojas ar esošajiem asfalta maisījumiem, lai sistēma darbotos, tostarp par jebkuru nepieciešamo atspriegošanas mehānismu?

- Kā ir apstiprināta konkrētās asfalta starpkārtas sistēmas veiktspēja? (piemēram, ilgstoša lietošana, lauka datu monitorings, laboratorijas pētījumi u.c.)
- Kāds ir izmaksu ieguvums no sistēmas izmantošanas objektā?
- Kādas ir izbūves prasības, kas saistītas ar piedāvāto sistēmu? (piemēram, izlīdzinošais slānis, minimālais nosedzošās kārtas biezums, savienojošā pārklājuma veids un daudzums, utt.)

Seguma esošie apstākļi.

Novērtējumā jāiekļauj vizuāla bojājumu apsekošana, esošā seguma konstrukcija no urbumiem un, ja nepieciešams (vai pieejams), deformācijas testu, piemēram, krītošā svara deflektometra (FWD), mērījumi. Šie dati jāizmanto, lai noteiktu esošā seguma elastības moduli [56].

Informācija par virsmas plaisāšanu jāreģistrē šādi:

- Plaisu skaits un garums, kuru platums pārsniedz 5 mm un kurām ir atzarojumi;
- Plaisu skaits un garums, kuru platums ir mazāks par 5 mm;
- Plaisu atrašanās vieta un virziens (piem., tikai riteņu sliedēs vai pa visu ceļa segumu);
- Fotogrāfijas ir noderīgs atskaites punkts;
- Atstarojošo plaisu noteikšanai var izmantot ceļa skenēšanas aprīkojumu.

Cita informācija, kas nepieciešama par ceļa esošo stāvokli un vēsturi, ietver:

- Ceļa veidu un ceļa konstrukciju;
- Satiksmes slodzes (transportlīdzekļu skaits, tips, braukšanas ātrums);
- Satiksmes zonas nestspēju;
- Inženiertīklu tranšeju atrašanās vietas;
- Reģistrētas augstākās un zemākās temperatūras svārstības (klimats);
- Seguma veidu (elastīgs, stings vai pusstings);
- Segas konstrukcijas raksturlielumus (piemēram, segas konstrukcijas elastības modulis, zemes klātnes nestspēja);
- Informācija par ūdens novadi un gruntsūdens līmeņiem..

Projektēšana

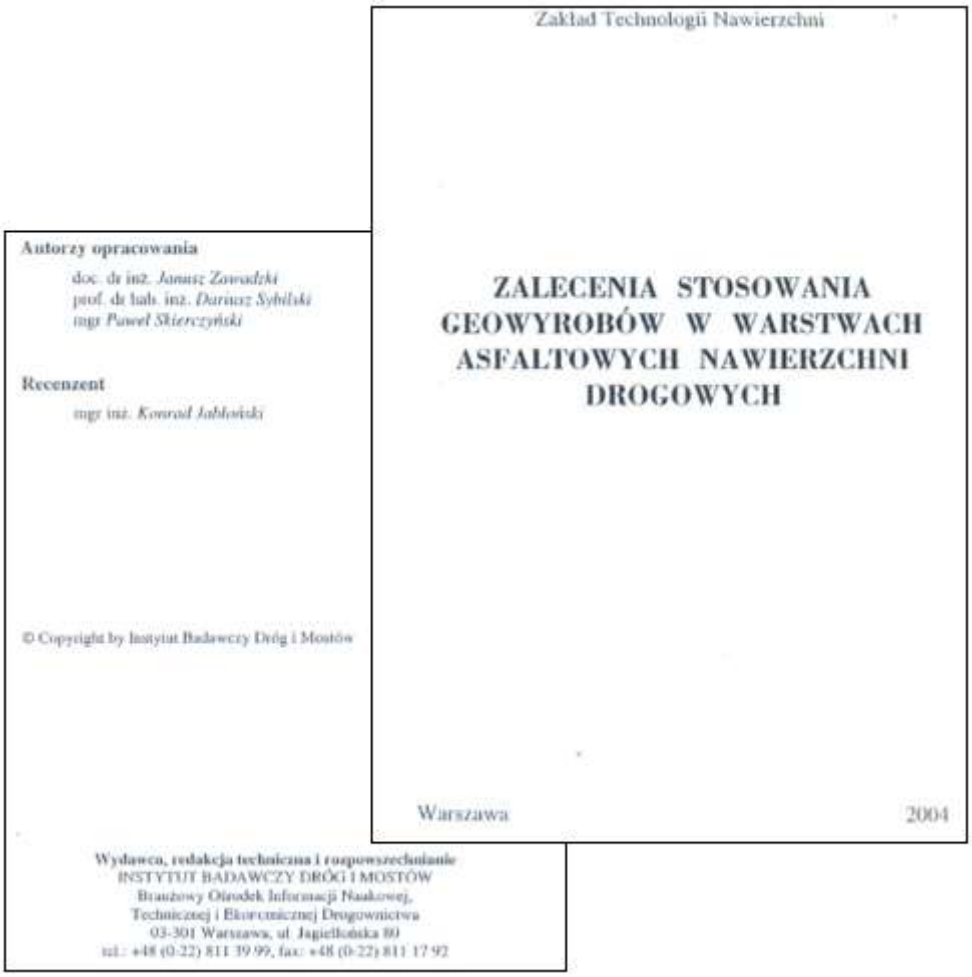
Izstrādes procesā ir vairākas metodes asfalta seguma pastiprināšanas projektēšanas procedūrai. Projektētāji un pasūtītāji tiek mudināti vākt ilgtermiņa lauka novērojuma datus vienotā veidā un pietiekami detalizēti, lai tos varētu izmantot turpmāko (analītisko) projektēšanas rīku un asfalta pastiprināšanas sistēmas veiktspējas apstiprināšanai, tai skaitā tiek ieteikta atskaites posma bez starpkārtām izbūve, lai varētu veikt tiešu salīdzinājumu ar seguma darbību pastiprinātos posmos [56].

Skaidrs, ka papildus esošajiem apstākļiem, risinājuma izvēli ietekmē dažādi ierobežojumi, darbības prasības un sagaidāmais rezultāts. Risinājumu izvēlē būtu jāņem vērā šādi punkti [56]:

- Risinājuma kalpošanas laiks;
- Minimālais nepieciešamais asfalta biezums pirmajā kārtā virs izstrādājuma;
- Jebkura alternatīva risinājuma paredzamais kalpošanas laiks, piemēram, izbūvējamā asfalta kārta bez ģeosintētisko materiālu kārtas izmantošanas;
- Jebkuri ierobežojumi attiecībā uz nosedzošās kārtas biezumu (piemēram, betona apmales, lietus ūdens kanalizācija utt.);
- Sagaidāmās satiksmes raksturlielumu izmaiņas;
- Ierobežojumi brauktuves aizņemšanai būvdarbu veikšanai (laika un telpas ziņā);
- Uzstādīšana vidē ar augstu pH vērtību;
- Kā starpkārta tiks noņemta tās kalpošanas laika beigās, un kādas ir sistēmas atkārtotas pārstrādes iespējas?

3.5.3. Polija

Polijā 2004. gadā tika izstrādāts dokuments, Lietošanas rekomendācijas ģeosintētisko izstrādājumu izmantošanai asfalta segumos “ZALECENIA STOSOWANIA WYROBÓW W WARSTWACH ASFATTOWYCH NAWIERZCHNI DROGOWYCH”, ko izstrādājis Ceļu un tiltu pētniecības institūts (INSTYTUT BADAWCZY DRÓG I MOSTÓW).


Zakład Technologii Nawierzchni

ZALECENIA STOSOWANIA GEOWYROBÓW W WARSTWACH ASFALTOWYCH NAWIERZCHNI DROGOWYCH

Warszawa 2004

Autorzy opracowania

doc. dr inż. Janusz Zowadzki
prof. dr hab. inż. Dariusz Sybilski
mgr Paweł Skierczyński

Recenzent

mgr inż. Konrad Jabłoński

© Copyright by Instytut Badawczy Dróg i Mostów

Wydawca, redakcja techniczna i rozpowszechnianie
INSTYTUT BADAWCZY DRÓG I MOSTÓW
Branżowy Ośrodek Informacji Naukowej,
Technicznej i Ekonomicznej Drogownictwa
03-301 Warszawa, ul. Jagiellońska 80
tel.: +48 (0-22) 811 39 99, fax: +48 (0-22) 811 17 92

3-5.15. attēls. Polijā 2004. gadā izstrādātais dokuments ģeosintētisko izstrādājumu izmantošanai asfalta segumos [57]

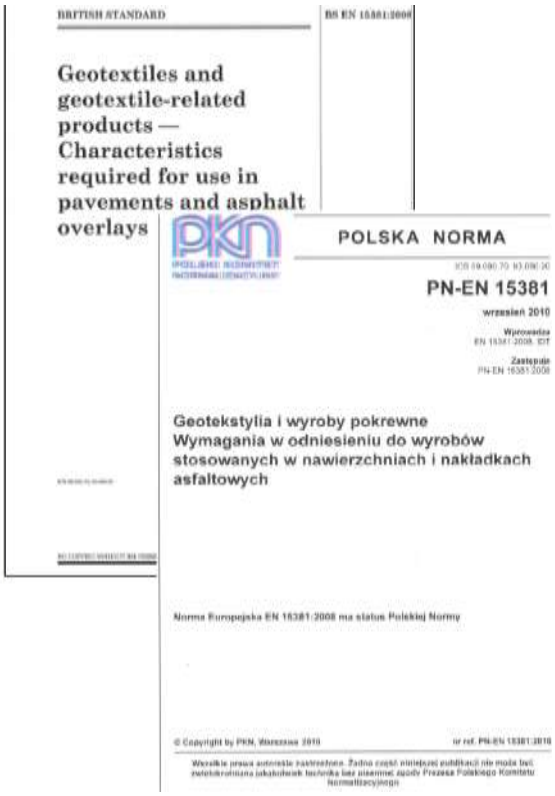
Atsaucoties uz informāciju poļu kolēģiem, šo dokumentu izmantoja līdz 2008. gadam, kad tika ieviests Eiropas standarts EN 15381. Dokumentā izvirzītās prasības neatbilst EN 15381, līdz ar to tas vairāk netiek izmantots un tiek uzskatīts par neaktuālu dokumentu.

Polijā šobrīd nav normatīvu vai vadlīniju ģeosintētisko materiālu izmantošanai asfalta segu konstruktīvajās kārtās. Tiek izmantots Eiropas standarta EN 15381 tulkojums poļu valodā PN-EN 15381.

EN 15381 (Norma europejska)
PN-EN 15381 (Norma krajowa)

Oznakowanie CE-zgodne z przeznaczeniem i funkcją wyrobu dla **kompozytów** stosowanych do warstw asfaltowych:

- **Zbrojenie/**Reinforcement (R)
- **Rozproszenie naprężeń (absorpcja)/**Stress-relief (STR)
- **Bariera międzywarstwowa/**Interlayer barrier (B)


BRITISH STANDARD

BS EN 15381:2008

Geotextiles and geotextile-related products — Characteristics required for use in pavements and asphalt overlays

POLSKA NORMA

PN-EN 15381

wrzesień 2010

Geotekstylia i wyroby pokrewne
Wymagania w odniesieniu do wyrobów stosowanych w nawierzchniach i nakładkach asfaltowych

Norma Europejska EN 15381:2008 ma status Polskiej Normy

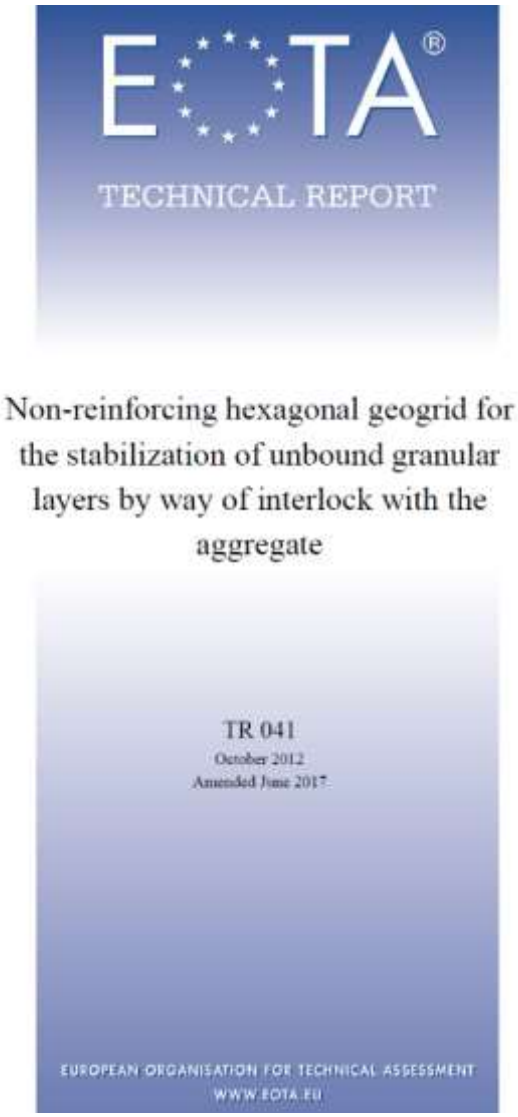
© Copyright by PKN, Warszawa 2010

3-5.16. attēls. Polijā pielietotais Eiropas standarts PN-EN 15381 [48]

3.6. Pētījumi un publikācijas

3.6.1. EOTA Tehniskais ziņojums TR041

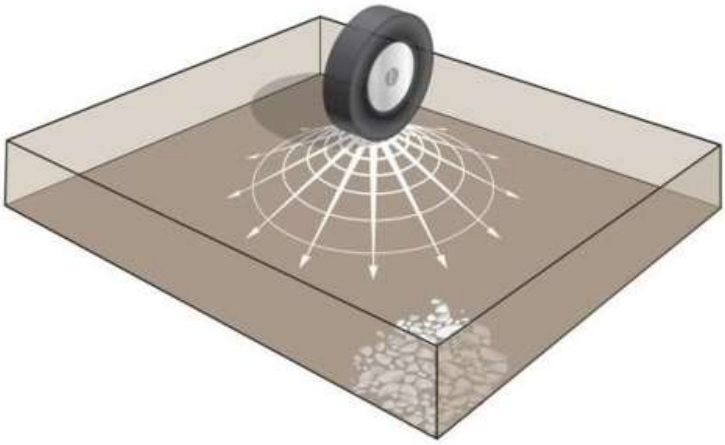
Trīsasu (sešstūra) ģeorežģim ir pieejams tehniskais ziņojums EOTA TR041 – Nestiegrojošs sešstūra ģeorežģis nesaistītu minerālmateriālu kārtu stabilizēšanai, saķīlējoties ar minerālmateriālu pildvielu. ("Non-reinforcing hexagonal geogrid for the stabilization of unbound granular layers by way of interlock with the aggregate", izstrādātājs EOTA – "European organization for technical assessment", Eiropas organizācija, kas veic tehnisko novērtējumu izstrādi) [52].



3-6.1. attēls. Tehniskais ziņojums – EOTA TR041 [52]

Tehniskais ziņojums EOTA TR041 ir veikts sešstūra ģeorežģim rūpnieciski nesavienotam ar ģeotekstilu, jo sākotnēji šādas formas ģeorežģi tika izmantoti tikai nesaistītu minerālmateriālu kārtu stabilizēšanai. Tikai salīdzinoši nesen sešstūra formas ģeorežģi tiek izmantoti asfalta kārtu izbūvē.

Ziņojumā ir norādīts, ka sešstūra ģeorežģi ir efektīvāki par divasu ģeorežģiem, jo labāk izdala transporta radīto slodzi uz ceļa segas konstrukciju. 3-6.2. attēlā redzams satiksmes slodzes radiālais sadalījums, satiksmes slodze izdalās 360°.



3-6.2. attēls. Satiksmes slodzes radiālais sadalījums [52]

Tehniskajā ziņojumā ir aprakstīta metode, pamatojoties uz EN ISO 10319, lai noteiktu radiālās sekantes stingumu pie zemām pagarinājuma vērtībām un apskatītu atšķirības tikai no šī standarta prasībām. Šī testēšanas metode nosaka stiepes īpašības noteiktos ģeorežģa plaknes radiālajos virzienos. EN ISO 10319 pamatā ir paredzēts divasu ģeorežģiem, kuriem galvenās stiepes īpašības tiek noteiktas 2 virzienos – garenvirzienā (0°) un šķērsvirzienā (90°) [52]

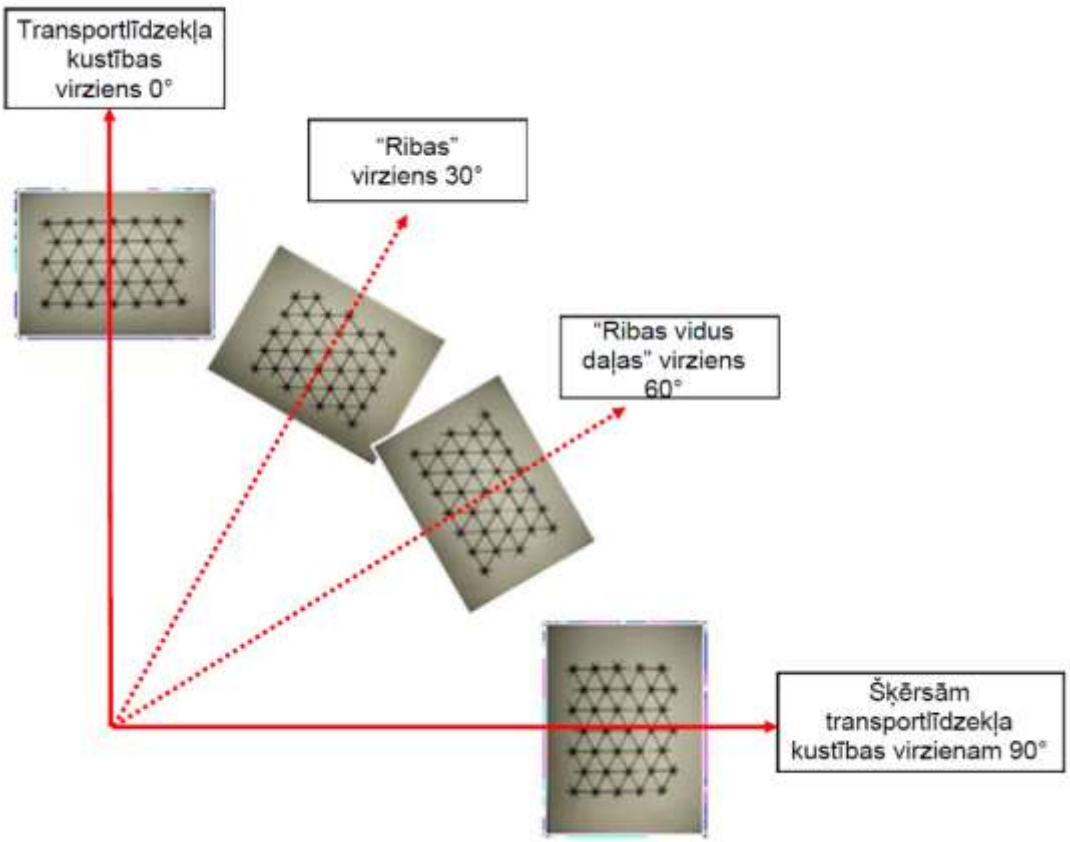
Atkāpjoties no EN ISO 10319 6.1 punkta, trīsasu (sešstūra) ģeorežģa īpašības nevar precīzi attēlot, pārbaudot tikai garenvirzienā (0°) un šķērsvirzienā (90°). Šim ģeorežģim divi galvenie testa virzieni ir "ribas vidusdaļa" un "ribas virziens". Tādēļ testēšana ir nepieciešama 4 virzienos – divos "vidējās ribas" virzienos (0° un 60°) un divos "ribu" virzienos (30° un 90°), skatīt 3-6.3. attēlu.

Mērījumus veic atbilstoši EN ISO 10319 un ziņojumā iekļauj vismaz šādu informāciju:

- Atsauci uz šo testa procedūru;
- Visi attiecīgie dati testa parauga pilnīgai identificēšanai;
- Radiālais sekantes stingums pie 0,5% pagarinājuma katrā testa virzienā (4 virzieni);
- Vidējais radiālās sekantes stingums pie 0,5% pagarinājuma;
- Vidējais radiālās sekantes stingums pie 2,0% pagarinājuma;
- Radiāla sekantes stinguma attiecība pie 0,5% pagarinājuma;

Vidējais sekantes stingums ir definēts kā sekantes stinguma vidējā aritmētiskā vienība no testa pie noteiktā pagarinājuma četros virzienos.

Radiālā sekantes stinguma attiecība ir definēta kā minimālais un maksimālais dalījuma vērtības koeficients, kas ir sasniegts vienā no četriem virzieniem, kas attiecīgi arī tiek aprēķināts.



3-6.3. attēls. Testēšanas virzienu shēma [52]

Uzskatāmībai dots trīsasu (sešstūra) ģeorežģa testa rezultātu apkopojuma piemērs 3-6.1. tabulā. Tabulā redzams, ka lielākā sekantes stinguma vērtība pie 0,5% pagarinājuma ir 503,0 kN/m 90°, bet zemākā vērtība – 365,1 kN/m 30°. Radiālā sekantes stinguma attiecība pie 0,5% pagarinājuma tad ir 365,1 / 503,0 = 0,73. Radiālās sekantes stinguma attiecība nozīmē, ka ģeorežģim ar šādu stingumu pie deklarētās stiepes stiprības horizontālā un vertikālā virzienā 20,0 kN/m zemākā radiālā stiepes stiprības vērtība būtu 0,73 x 20,0 = 14,6 kN/m.

3-6.1. tabula. Trīsasu (sešstūra) ģeorežģa testa rezultātu apkopojums.

Tests	Vērtība
Sekantes stingums pie 0,5% pagarinājuma 0° (kN/m)	392,5
Sekantes stingums pie 0,5% pagarinājuma 30° (kN/m)	365,1
Sekantes stingums pie 0,5% pagarinājuma 60° (kN/m)	444,8
Sekantes stingums pie 0,5% pagarinājuma 90° (kN/m)	503,0
Vidējais sekantes stingums pie 0,5% pagarinājuma (kN/m)	426,4
Vidējais sekantes stingums pie 2,0% pagarinājuma (kN/m)	311,4
Radiālā sekantes stinguma attiecība pie 0,5% pagarinājuma	0,73

Salīdzinājumam 3-6.2. tabulā ir dots divasu ģeorežģa tāda paša testa rezultātu apkopojuma piemērs. Tabulā redzams, ka lielākā sekantes stinguma vērtība pie 0,5% pagarinājuma ir 741,2 kN/m 0°, bet zemākā vērtība – 113,3 kN/m 30°. Radiālā sekantes stinguma attiecība pie 0,5% pagarinājuma tad ir 113,3 / 741,2 = 0,15. Radiālās sekantes stinguma attiecība nozīmē, ka ģeorežģim ar šādu stingumu pie deklarētās stiepes stiprības horizontālā un vertikālā virzienā 20,0 kN/m zemākā radiālā stiepes stiprības vērtība būtu 0,15 x 20,0 = 3,0 kN/m.

3-6.2. tabula. Divasu (sešstūra) ģeorežģa testa rezultātu apkopojums.

Tests	Vērtība
Sekantes stingums pie 0,5% pagarinājuma 0° (kN/m)	741,2
Sekantes stingums pie 0,5% pagarinājuma 30° (kN/m)	113,3
Sekantes stingums pie 0,5% pagarinājuma 60° (kN/m)	399,5
Sekantes stingums pie 0,5% pagarinājuma 90° (kN/m)	726,5
Vidējais sekantes stingums pie 0,5% pagarinājuma (kN/m)	495,1
Vidējais sekantes stingums pie 2,0% pagarinājuma (kN/m)	356,4
Radiālā sekantes stinguma attiecība pie 0,5% pagarinājuma	0,15

3.6.2. Dažādu segumā izbūvētu ģeorežģu novērojums (Nīderlande)

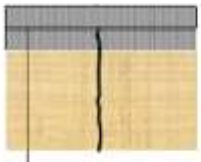
Veikta atstarojošo plaisu novērošana uz autoceļa A6 laika posmā no 1992. līdz 2005. gadam.

3-6.4. attēls. Izpētes autoceļa novietnes shēma [48]

Kā redzams 3-6.5. attēlā, autoceļa segas konstrukcijas izbūvēta 1971. gadā. Konstruktīvās kārtas veido stabilizēta pamatne 40cm + asfalts 18cm. Ir novērota atstarojošo plaisu

parādīšanās. Seguma atjaunošana veikta ar esošā seguma frēzēšanu un asfalta dilumkārtas izbūvi. Rezultātā novērotas pirmās atstarojošās plaisas pēc 2-3 gadiem.

- Izbūves gads: 1971
- Konstrukcija: - 18 cm asfalts (vairākas kārtas)
  - 40 cm ar cementu stabilizēta pamatne
- Novērota atstarojošo plaisu veidošanās (ar intervālu 11.5 m)
- Veikts atkārtots remonts: esošā seguma frēzēšana, asfalta dilumkārtas izbūve
  Rezultāts: novērotas pirmās atstarojošās plaisas pēc 2-3 gadiem

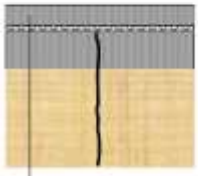


18 cm asfalts (vairākas kārtas)
40 cm ar cementu stabilizēta pamatne

3-6.5. attēls. Esošās situācijas apraksts [48]

Kā redzams 3-6.6. attēlā, testa posmu izbūve veikta 1992. gadā. Atjaunošana veikta izbūvējot dažādus ģeosintētiskos materiālus un asfalta dilumkārtu (0/16) 5cm biezumā virs tiem.

- Testa posma izbūve 1992. gads
- Atjaunošana veikta izbūvējot dažādus ģeosintētiskos materiālus un virs tiem izbūvējot asfalta dilumkārtu (0/16) 5cm biezumā

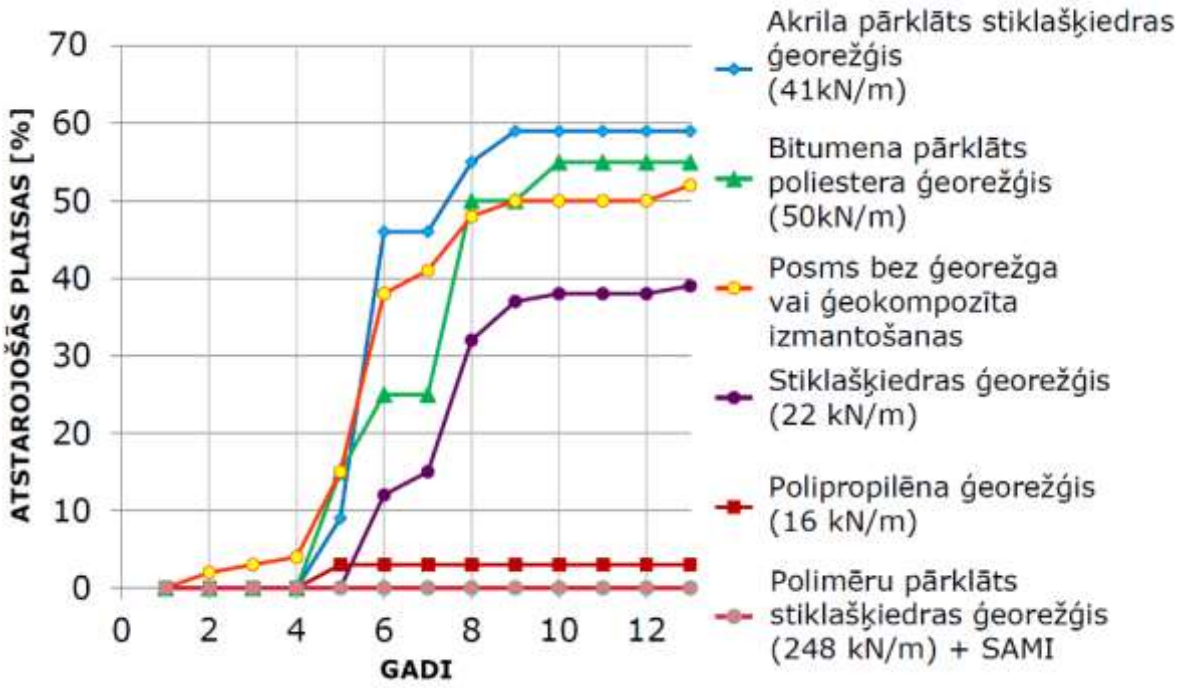


Izbūvēts: 5 cm asfalta virskārta
Izbūvēts: Dažādi ģeosintētiskie materiāli asfalta pastiprināšanai
Esošais: 18 cm asfalts (vairākas kārtas)
Esošais: 40 cm ar cementu stabilizēta pamatne

3-6.6. attēls. Izpētes testa posms [48]

Veikta atstarojošo plaisu rašanās vietu un apjoma dokumentēšana laika posmā no 1992. līdz 2005. gadam (13 gadi). Attēlā 3-6.7. apkopota atstarojošo plaisu dinamika pa gadiem. Kā redzams attēlā, tad "Posms bez ģeorežga vai ģeokompozīta izmantošanas" ir posms bez ģeosintētiskā materiāla pielietošanas, pārējos posmos ir pielietoti dažādi ģeosintētisko

materiālu veidi - ģeorežģi, kā pēdējais jeb grafika apakšā ir ģeokompozīts – "polimēru pārklāts stiklšķiedras ģeorežģis + SAMI", kura izbūves posmā izpētes laikā nav novērota atstarojošo plaisu veidošanās. Tas izskaidrojams ar to, ka ir izmantots ģeorežģis kopā ar ģeotekstilu, kas nodrošina (starpslāņu) barjeru un atspriegošanu atbilstoši EN 15381 noteiktajām funkcijām.



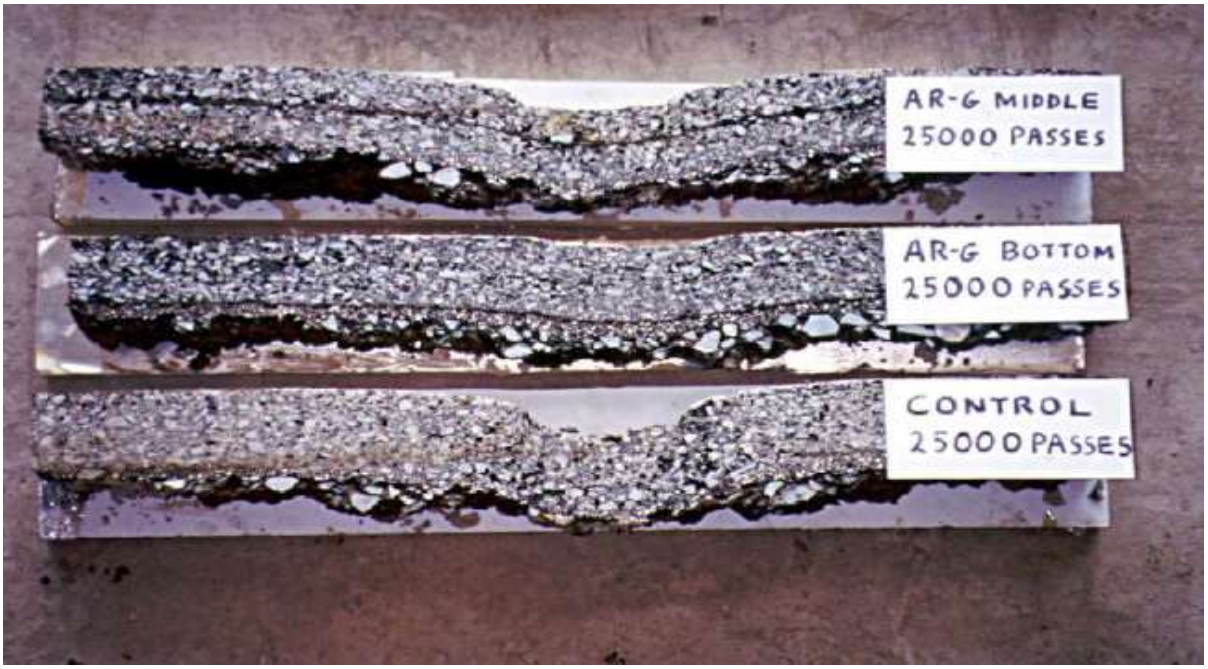
3-6.7. attēls. Atstarojošo plaisu veidošanās dinamika pa gadiem [48]

3.6.3. Seguma pastiprināšana ģeokompozītu (Lielbritānija)

Notingemas universitātē 1985. gadā tika veikts pētījums prof. S. Brauna vadībā par divasu ģeorežģa un divasu ģeokompozīta izmantošanas ietekmi uz:

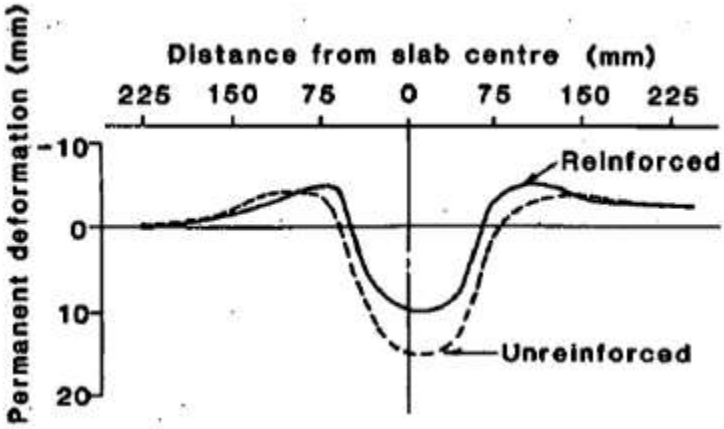
- Pārbrauciena skaitu;
- Noguruma izturību;
- Atstarojošo plaisu veidošanos.

3-6.8. attēls. Testēšanas posms [48]



3-6.9. . attēls. Testēšanas rezultāti [48]

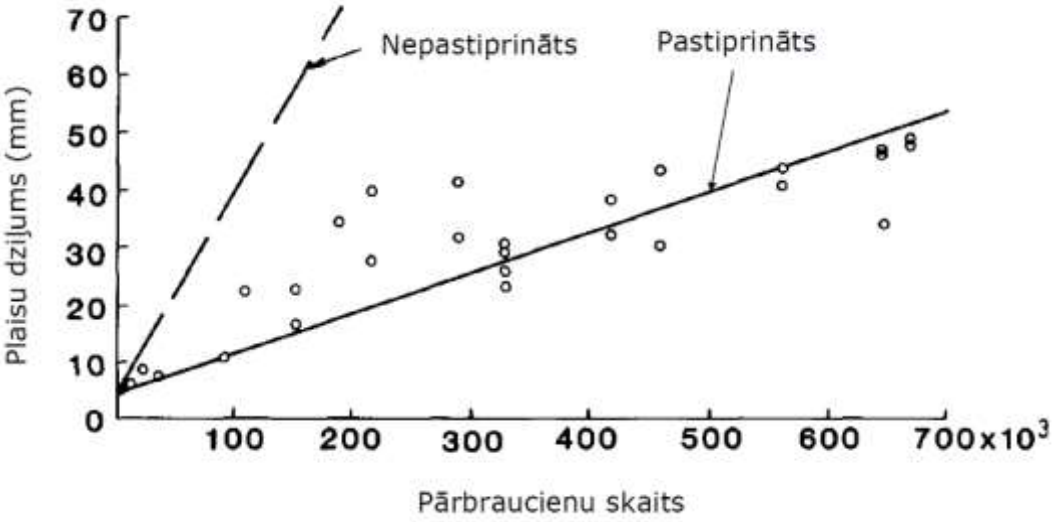
Kā redzams 3-6.9. attēlā, ir izveidoti 3 paraugi, augšējais paraugs ar ģeokompozītu izbūvētu zem asfalta augšējās kārtas, vidējais paraugs ar ģeokompozītu izbūvētu zem asfalta saistes kārtas un apakšējais paraugs bez ģeokompozīta izbūves. 3-6.10. attēlā attēlotas pastiprināta un nepastiprināta parauga šķērsprofila deformācijas.



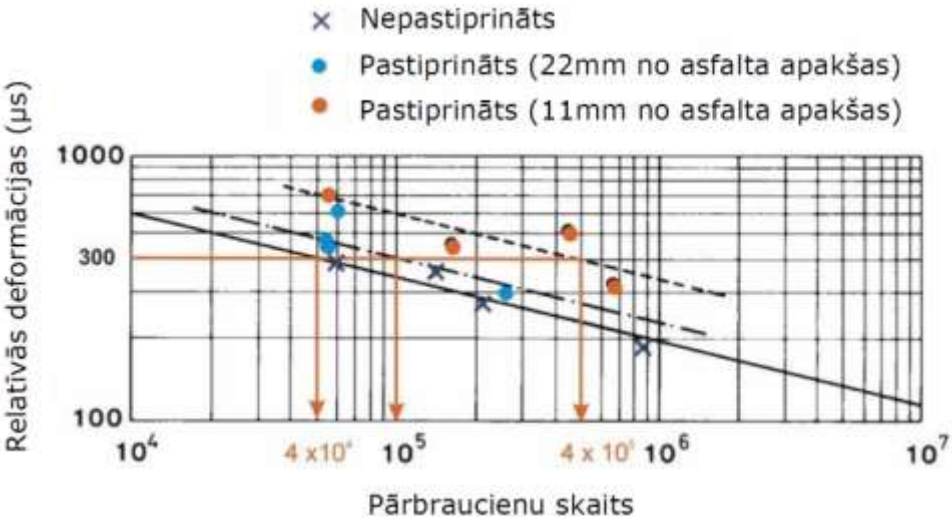
3-6.10. attēls. Paliekošās deformācijas [48]

3-6.11. attēls. Nepastiprinātais slānis (pa kreisi) un pastiprinātais slānis (pa labi) [48]

Kā redzams 3-6.11. attēlā, paraugam pastiprinātam ar ģeorežģi ir novērojama paildzināta noguruma plaisu veidošanās. Tas arī redzams 3-6.12. attēlā, kurā ir salīdzināta plaisu veidošanās dinamika nepastiprinātās konstrukcijās un ar ģeosintētiskajiem materiāliem pastiprinātās konstrukcijās.



3-6.12. attēls. Plaisu veidošanās dinamika nepastiprinātās un ar ģeosintētiku pastiprinātās asfalta segas konstrukcijās [48]

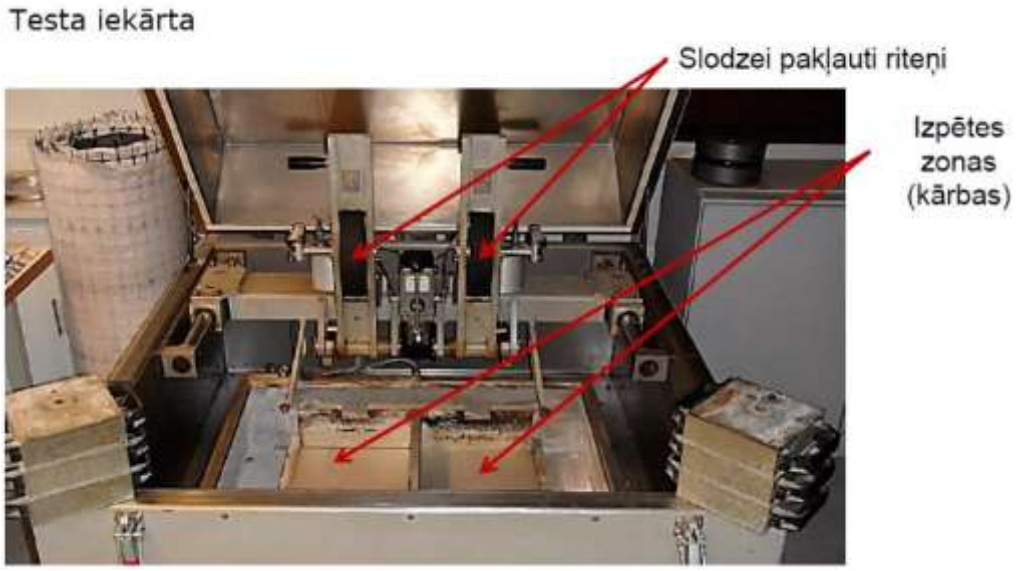


3-6.13. attēls. Ģeokompozīta ievērtēšana asfalta segas konstrukcijas kalpošanas perioda noteikšanai [48]

Kā redzams 3-6.13. attēlā, tad pielietojot ģeosintētiskos materiālus asfalta segas konstrukcijās, ievērojami tiek palielināta asfalta konstruktīvo kārtu pretestība pret transporta radītajiem spriegumiem. Jo zemāk pret brauktuves seguma virsmu tiek iebūvēt ģeosintētiskais materiāls, jo lielāku efektu tas rada. To parāda arī 3-6.9. attēls.

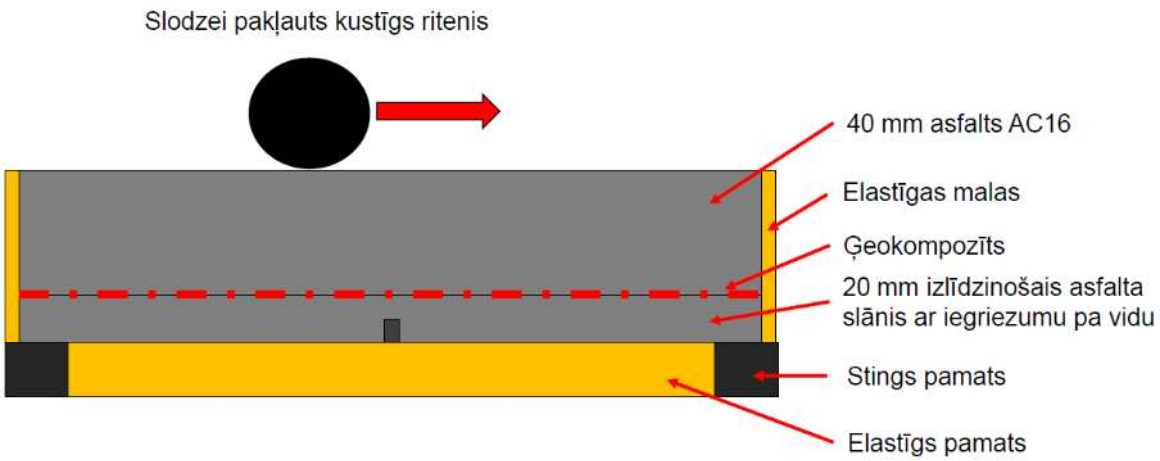
3.6.4. Plaisu attīstība segumā ar ģeokompozītu (Vācija)

Vismāras Universitāte 2015. gadā tika veikts noguruma plaisu veidošanās tests.



3-6.14. attēls. Pārveidots / pielāgots ceļa segas posms [48]

3-6.15. attēlā redzams, kā tiek veikts tests 40 mm biezai asfalta kārtai, kas atdalīta ar polipropilēna ģeorežģi rūpnieciski savienotu ar ģeotekstilu (ģeokompozītu). Zem ģeokompozīta paredzēta asfalta izlīdzinošā kārta 20 mm biezumā ar iegriezumu pa vidu. Testējamais paraugs malās balstīts uz stinga pamata, savukārt vidus - uz elastīga pamata.



3-6.15. attēls. Testa veikšanas shēma [48]

3-6.16. attēlā redzami testa paraugi ar un bez ģeokompozīta pielietošanas. Augšējais testa paraugs bez pastiprinājuma sabruka pēc 41 000 pārbraucienu skaita, savukārt apakšējais testa paraugs ar pastiprinājumu sabruka pēc 155 000 pārbraucienu skaita. Rezultātā var

secināt, ka ģeokompozīta izmantošana palēnina noguruma plaisu veidošanos > 3.7 reizēm, tādējādi tiek palielināts kalpošanas laiks.

Nepastiprināts paraugs pēc **41 000** pārbraucienu skaita

Pastiprināts paraugs ar ģeokompozītu pēc **155 000** pārbraucienu skaita
(Noguruma plaisu veidošanās > 3.7)

3-6.16. attēls. Pētījuma rezultāti [48]

3.6.5. Seguma pastiprināšana ar ģeokompozītu (Polija)

Gdaņskas Tehniskās universitāte sadarbībā ar Tensar International Ltd 2021. gadā veica pētījumu – "Fatigue Performance of Double-Layered Asphalt Concrete Beams Reinforced with New Type of Geocomposites" [58] jeb latviešu valodā "Noguruma veiktspēja uz divslāņu asfaltbetona sijām, kuras pastiprinātas ar jaunā tipa ģeokompozītu" (turpmāk Gdaņskas pētījums).

Veiktajā Gdaņskas pētījumā tika apskatīta asfalta kārtu pastiprināšana, izmantojot jauna veida ģeorežģa kompozītmateriālu, kurā kvadrātveida vai sešstūra polipropilēna stings monolīts ģeorežģis ar integrētiem savienojumiem ir savienots ar polipropilēna neaustu audumu.

Laboratoriskie testi tika veikti, izmantojot gan nepastiprinātus, gan ar ģeokompozītu pastiprinātus prizmatiskus paraugus, kuru izmēri bija 850x170x100mm. Laboratoriskajos testos kā atskaite tika izmantoti nepastiprināti paraugi.

Testa rezultāti tika analizēti no vairākiem aspektiem, tostarp no standartizētās pieejas puses, kuras pamatā ir stinguma samazināšanās, kā arī izmantojot enerģijas izkliedējumu.

Novērtēta tika arī pastiprināšanas ietekme uz seguma kalpošanas laiku atkarībā no materiāla noguruma. Pamatojoties uz aprēķinos iegūtajiem datiem par seguma kalpošanas laiku, tika secināts, ka ģeokompozītam ir acīmredzama pozitīva ietekme uz

seguma veiktspēju, tam ir ievērojams potenciāls pagarināt seguma kopējo kalpošanas laiku, jo īpaši trīsasu ģeokompozīta gadījumā.

Testus veica ģeokompozīta paraugiem, kas sagatavoti šādā veidā:

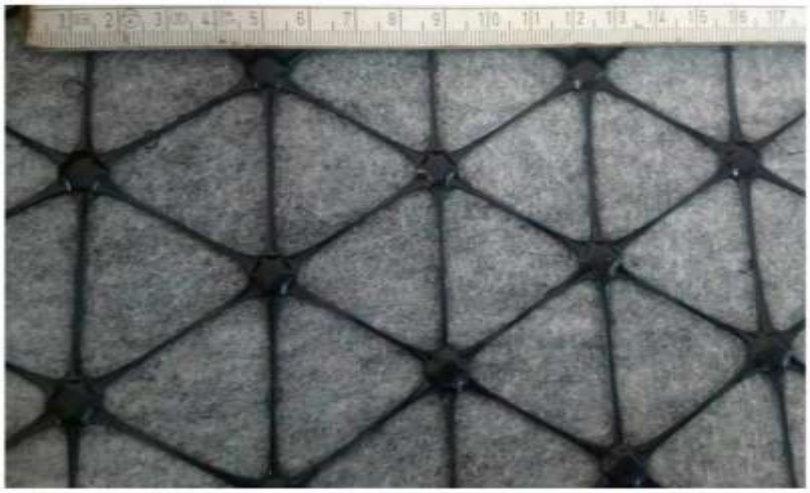
- Apakškārta, kas izgatavota no asfaltbetona AC 11 W 35/50 kā izlīdzinošā kārta 3cm biezumā
- Virskārta, kas izgatavots no asfaltbetona AC 16 W 35/50 virskārtas 7cm biezumā.

Tika pārbaudīti divi ģeokompozītu veidi:

- divasu ģeorežģis, kas saistīts ar neaustu ģeotekstilu (ģeokompozīts).

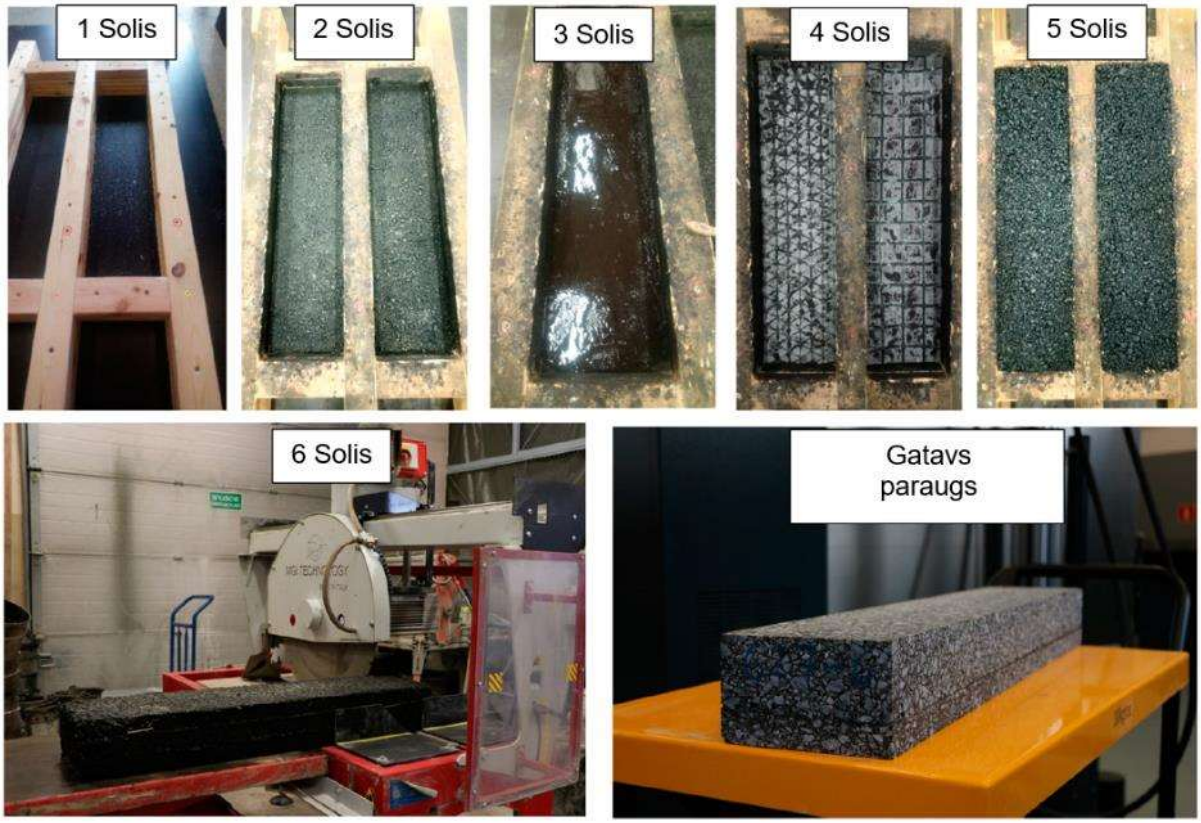
3-6.17. Divasu ģeokompozīts [58]

- trīsasu ģeorežģis, kas saistīts ar neaustu ģeotekstilu (ģeokompozīts).



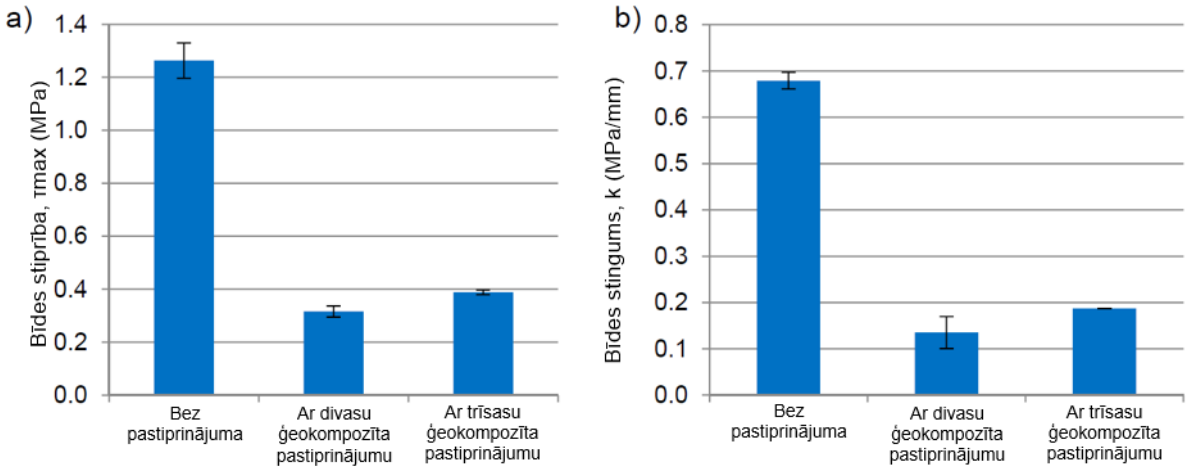
3-6.18. attēls. Trīsasu ģeokompozīts [58]

Neatkarīgi no prizmatiskajiem paraugiem, kas bija paredzēti noguruma testēšanai, no papildus prizmatisko paraugu komplekta izgrieza cilindriskos paraugus ar diametru 150 mm starpkārtu adhēzijas testiem. Parauga sagatavošanas process ir parādīts 3-6.19. attēlā.



3-6.19. attēls. Testa paraugu sagatavošana [58]

Adhēzija tika novērtēta, izmantojot tiešo bīdes testa metodi, ko Leutner ierosināja 1979. gadā. Tās pamatā ir tiešā bīde (bez lieces) asfalta slāņa saskarnēs cilindriskajos paraugos ar diametru 150 mm. Tieši pirms testa paraugus 20°C temperatūrā sagatavoja 12 stundas. Bīde norisinājās ar ātrumu 50mm/min pieņemtajā atteices plaknē, līdz notiek pilnīga bīdes atteice pieņemtajā plaknē. Tiešās bīdes testa rezultāti ir parādīti 3-8.17. attēlā.

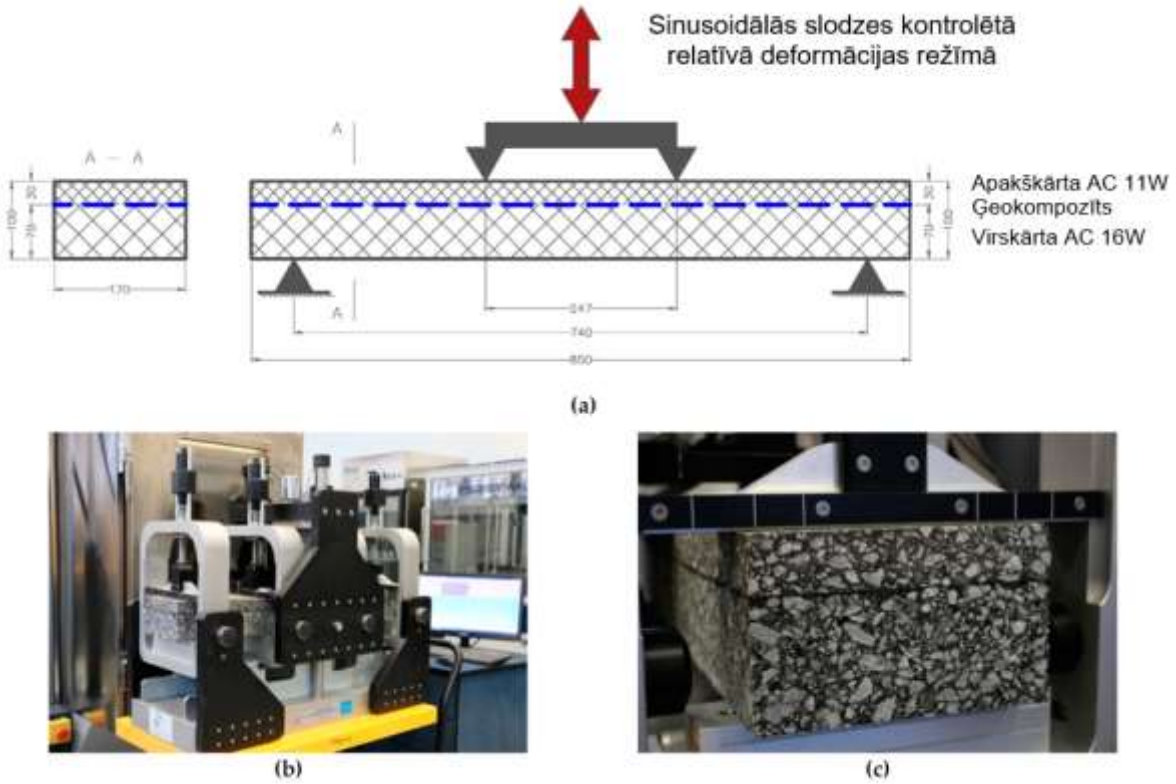


3-6.20. attēls. Bīdes stiprība (a) un bīdes stingums (b) sistēmām bez pastiprinājuma, ar divasu ģeokompozīta un ar trīsasu ģeokompozīta pastiprinājumu [58]

Saskaņā ar citiem pētījumiem [59] smagā transportlīdzekļa avārijas bremzēšanas laikā aprēķinātais horizontālais spriegums saskarnes dziļumā starp saistes kārtu un asfalta pamatkārtu nepārsniedz 0,15 – 0,20 MPa līmeni, kas ir gandrīz divreiz zemāks par starpkārtu savienojuma stiprību, kas iegūta paraugiem ar ģeokompozīta izmantošanu.

Ģeokompozīta izmantošana starp abām asfalta kārtām samazināja to savienošanās stiprību un bīdes stingumu par 75%, salīdzinot ar paraugiem bez pastiprināšanas. Izmantotais ģeokompozīts ietekmē bīdes izturību un stingumu. Tomēr starpkārtu sasaites bīdes stiprība, kas ir aptuveni 0,3 MPa, joprojām ir lielāka par maksimālo bīdes spriegumu, ko rada transportlīdzekļu slodze.

Seguma materiāla noguruma testēšana tika veikta četru punktu lieces testa (4PB-PR) shēmā. Tests tika veikts klimatiskajā kamerā nemainīgā temperatūrā +13° C, kas ir pieņemtā temperatūra elastīgu segumu projektēšanā Polijā.



3-6.21. attēls. Testa parauga izmēri, šķērsgriezums un testēšanas iekārta [58]

Attēlā 3-6.21. redzams pētījumā pielietotā četru punktu lieces iekārta: a) 4PB testa konfigurāciju shēma (visi izmēri doti milimetros), b) testa iekārtas skats ārpus klimatiskās kameras, c) sijas šķērsgriezums.

Sijas tika pakļautas cikliskai slodzei, kas izraisīja sinusoidālas izmaiņas relatīvajās deformācijās no 0 līdz iepriekš iestatītai maksimālajai vērtībai. Tika pieņemtas šādas maksimālās relatīvo deformāciju vērtības: 400, 500, 600, 700 un 800 μs relatīvajām deformācijām.

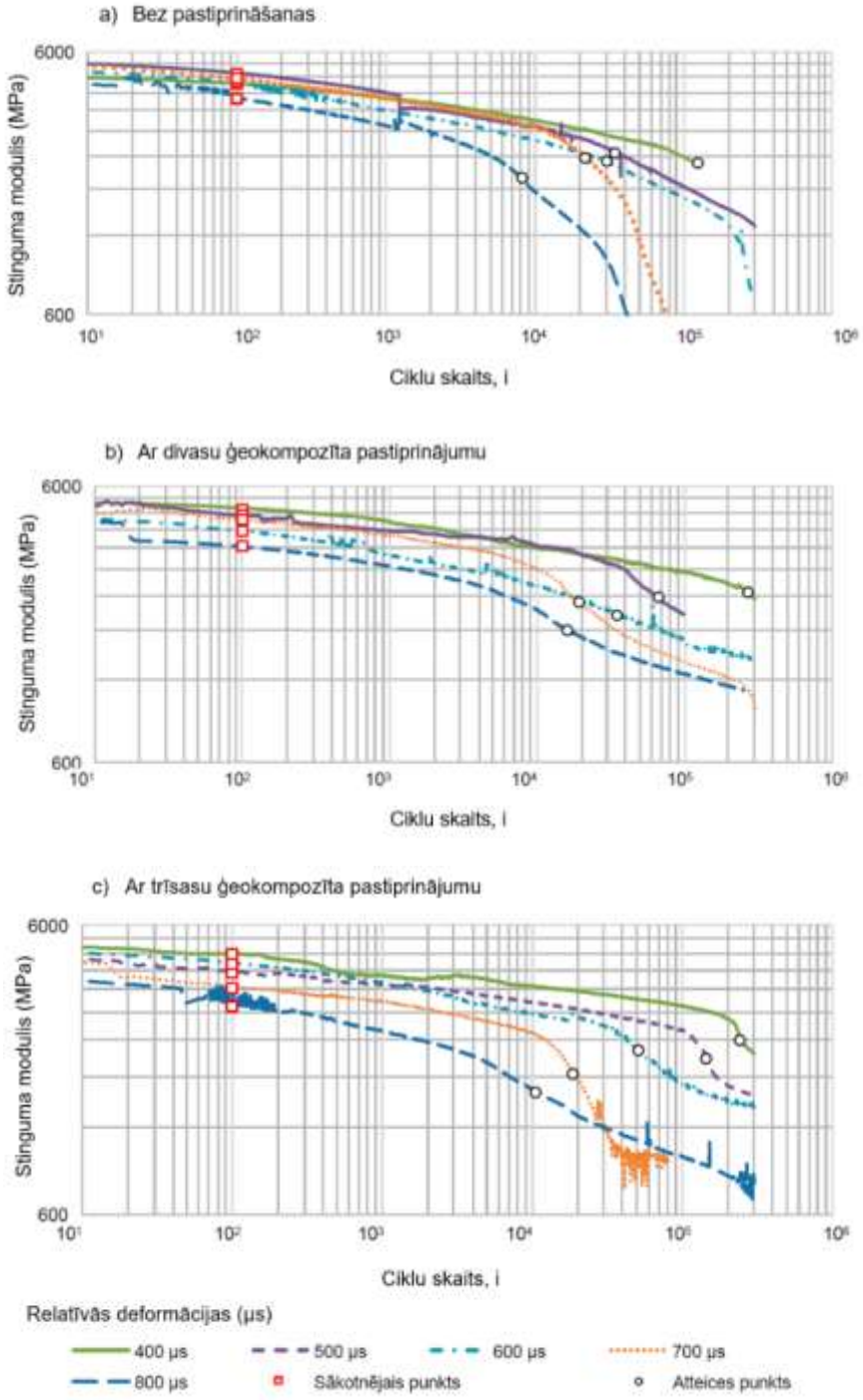
Katram relatīvo deformāciju līmenim un noteiktam pastiprinājuma veidam tika pārbaudīts viens paraugs.

Šāda veida noguruma tests literatūrā aprakstīts kā "kontrolēts relatīvo deformāciju režīms". Liece bija pielikta tikai vienā virzienā, lai ģeokompozīts darbotos zonā, kas pakļauta stiepei, kā reālā seguma konstrukcijā. Slodzes pielikšanas frekvence bija 1 Hz.

Iegūtie rezultāti tika analizēti, ņemot vērā sākotnējo stingumu, ciklu skaitu līdz atteicei un kopējo izkliedēto enerģiju noguruma testā.

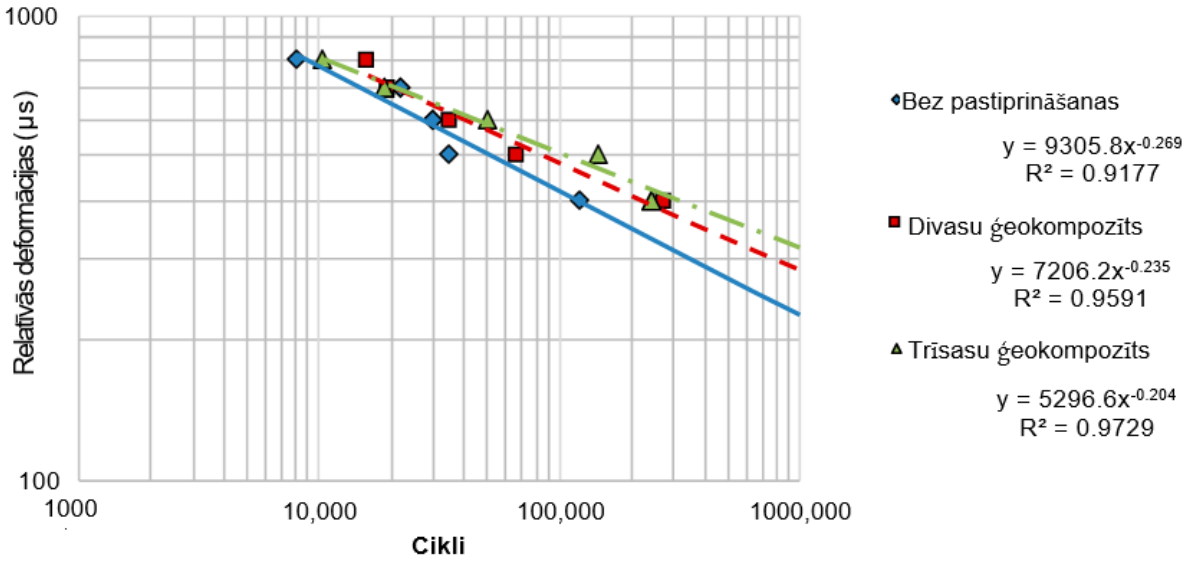
Sākotnējais stingums S_{ini} – līdzvērtīgs sistēmas stinguma modulim noguruma testa 100. slodzes ciklā.

Noguruma testa laikā sistēmas stingums pakāpeniski samazinās. Samazinājuma ātrums ir parādīts 3-6.22. attēlā dažādos relatīvo deformāciju maksimuma līmeņos: 400, 500, 600, 700 un 800 μs relatīvās deformācijas. 3-6.22. attēlā ir norādītas arī sākotnējās stinguma vērtības un noguruma atteices punkti saskaņā ar kritēriju, kas definē atteici kā stinguma samazināšanos līdz 50% no S_{ini}.



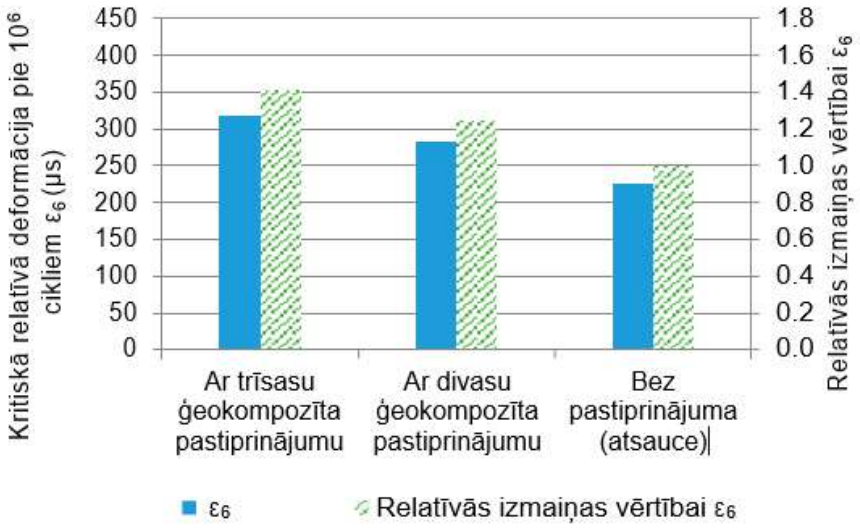
3-6.22. attēls. Divkārtu asfalta siju stinguma moduļa izmaiņas: a) bez pastiprināšanas, b) ar divasu ģeokompozīta pastiprinājumu un c) ar trīsasu ģeokompozīta pastiprinājumu [58]

3-6.23. attēlā parādīts noguruma testa ciklu skaits līdz atteicei salīdzinājumā ar relatīvajām deformācijām. Iezīmētie punkti tika noteikti, pamatojoties uz 3-6.22. attēlu, un tie atspoguļo ciklu skaitu, pie kura stingums samazinājās līdz 50% no S_{ini}.



3-6.23. attēls. Noguruma modeļa diagramma divkārtu asfalta sijām [58]

Pamatojoties uz noguruma līknēm, kas norādītas 3-6.23. attēlā, noteica kritiskās relatīvās deformācijas pie viena miljona cikliem ε_6 un apkopotas 3-6.24. attēlā.



3-6.24. attēls. Kritisko relatīvo deformāciju ε_6 salīdzinājums ar tā relatīvajām izmaiņām pēc pastiprinājuma ieviešanas [58]

Pamatojoties uz 3-6.24. attēlā norādītajām modeļa noguruma diagrammām, tika novērtētas divkārtu sistēmu un visu segumu konstrukciju aprēķinātās noguruma kalpošanas laika vērtības. Tika pieņemts 130 µs relatīvās deformācijas, kas parasti rodas asfalta kārtu apakšā jaunizbūvētajiem segumiem, kas sastāv no aptuveni 16 cm asfalta

kārtas, kas novietota uz 20 cm šķembu maisījuma pamatnes un zemes klātnes ar 100 MPa nestspēju. Divkārtu sistēmu noguruma laiks tika aprēķināts, pamatojoties uz 3-6.24. attēlu, un tas atspoguļo ciklu skaitu pie 130 μs relatīvajām deformācijām, līdz tiks izraisīta noguruma atteice. 3-6.25. attēlā apkopots divkārtu sistēmu kalpošanas laiks pie 130 μs relatīvajām deformācijām, kā arī relatīvo kalpošanas laika pieaugumu, kas iegūts ģeokompozītu izbūves rezultātā.

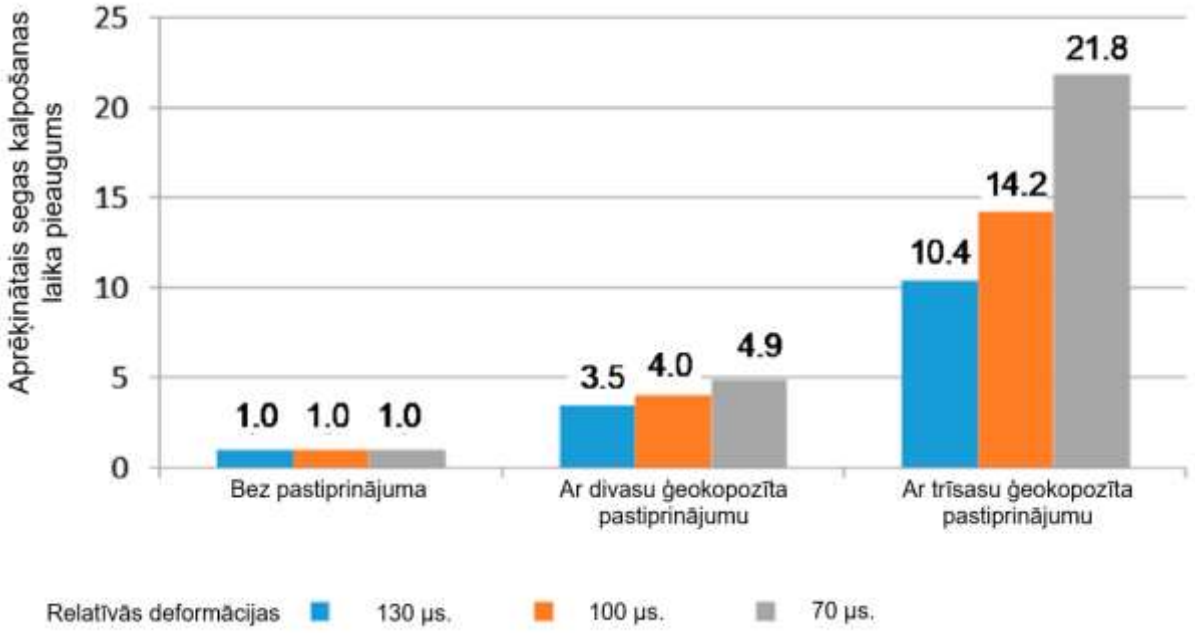
Pastiprinājuma tips	Relatīvās deformācijas asfalta slāņu apakšā ε	Noguruma dzīve N_f (Laboratoriskos apstākļos)	Noguruma dzīves relatīvais pieaugums
Bez pastiprinājuma (atsauce)	130	7,832,285	1.0
Divasu ģeokompozīta pastiprinājums	130	27,211,116	3.5
Trīsasu ģeorežģa pastiprinājums	130	81,486,699	10.4

3-6.25. attēls. Salīdzinājums aprēķinātajam noguruma kalpošanas periodam bez pastiprinājuma, kā arī pastiprinot ar divasu un trīsasu ģeokompozītiem [58]

3-6.26. attēlā ir parādītas papildu aplēses par relatīvo kalpošanas laika pieaugumu diviem dažādiem deformāciju līmeņiem asfalta kārtu apakšā: 70 μs un 100 μs relatīvās deformācijas. Zemākais relatīvo deformāciju līmenis ir reprezentatīvs segumiem ar lielāku kopējo asfalta kārtu biezumu.

Analizējot rezultātus, jāņem vērā šādi faktori:

- noguruma modeļa diagrammu ekstrapolācija ārpus pārbaudītajiem diapazoniem;
- asfalta kārtu kopējā stinguma samazināšanās ģeokompozīta dēļ;
- iespējamais atšķirīgais pastiprinājuma iebūves dziļums seguma konstrukcijā, kā arī potenciāli atšķirīgas biezuma proporcijas starp asfalta kārtām.



3-6.26. attēls Aprēķinātais relatīvais kalpošanas laika pieaugums, ko izraisa asfalta kārtu pastiprināšana attiecīgajam relatīvo deformāciju līmenim [58]

3-6.26. attēlā sniegtais salīdzinājums nozīmē, ka asfalta pastiprināšanas ietekme ir īpaši labvēlīga segumiem intensīvas satiksmes gadījumā, ko raksturo augsts asfalta kārtu kopējais biezums, ģeokompozīta novietošana zemāk seguma konstrukcijā un zemākas relatīvās deformācijas asfalta kārtu apakšā.

Ģeokompozīta ietekme uz segumiem ar zemu satiksmes intensitāti (kam raksturīgs zems asfalta kārtu kopējais biezums) būs ierobežota, jo izšķirošais kritērijs plānu asfalta kārtu segumiem būs paliekošās deformācijas, nevis materiāla noguruma kritērijs.

<u>Pētījumā tika izdarīti šādi secinājumi:</u>

- Ģeokompozīta pielietošana rada parauga bīdes stinguma samazinājumu par aptuveni 20%. Tika novērota arī tiešās bīdes stiprības samazināšanās par aptuveni 70%.

- Kontrolētā relatīvo deformāciju noguruma testā novērotajam stinguma moduļa pakāpeniskam samazinājumam bija tipisks raksturs paraugiem bez pastiprinājuma un netipisks raksturs paraugiem ar ģeokompozītiem. Tika novērots brīdis, kad noguruma testa laikā tiek aktivizēts ģeokompozīts.

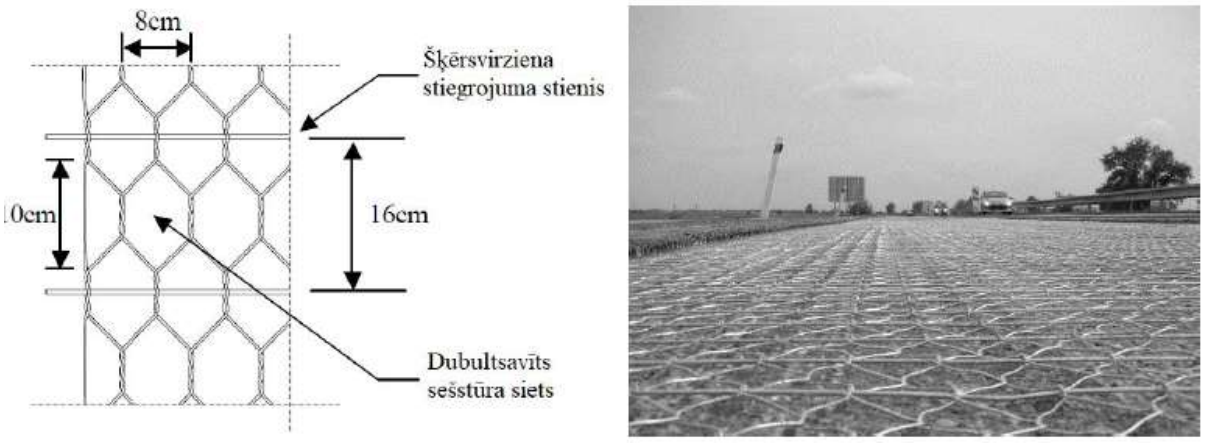
- Visi pārbaudītie paraugi sasniedza noguruma robežu saskaņā ar kritēriju, kas definē noguruma atteici, kā stinguma samazināšanos par 50% no tās sākotnējās vērtības. Saskaņā ar samazinātā enerģijas koeficienta Rt analīzi pastiprinātajiem paraugiem noguruma atteice nenotika, bet tā notika paraugiem bez pastiprinājuma. Tas

norāda, ka ģeokompozīta izmantošana pozitīvi ietekmē divkārtu sistēmu kalpošanas laiku.

- Sistēmas tika sarindotas pēc to noguruma izturības, pamatojoties uz kritisko realatīvo deformāciju ε6. Zemākā noguruma izturība tika iegūta paraugiem bez pastiprinājuma. Pastiprināšana ar divasu ģeokompozītu izraisīja kritisko relatīvo deformāciju vērtību palielināšanos par 25%, bet ar trīsasu ģeokompozītu - par 40% (salīdzinot ar sistēmu bez pastiprināšanas).
- Noguruma testu rezultāti tika izmantoti noguruma modeļu noteikšanai. Pamatojoties uz noguruma modeļiem, sistēmas ar trīsasu ģeokompozītu sasniedza no 10 līdz 22 reizēm lielāku kalpošanas laiku nekā sistēmām bez pastiprināšanas, savukārt sistēmas ar divasu ģeokompozītu sasniedza no 3 līdz 5 reizēm lielāku kalpošanas laiku nekā sistēmām bez pastiprināšanas.
- Pamatojoties uz materiāla noguruma novērtējuma analīzi, var teikt, ka ģeokompozīta pielietošanai ir pozitīva ietekme uz segumu kalpošanas laiku vidējas un augstas satiksmes intensitātes gadījumā.
- Relatīvo deformāciju diapazonā, kas mazāks par 600 μs, paraugi ar divasu un trīsasu ģeokompozīta pastiprinājumu pirms atteices izkliedēja vairāk enerģijas nekā sistēmas bez pastiprināšanas, kas nozīmē, ka segumiem ar pastiprinātām asfalta kārtām ir lielāka nogurumizturība.

3.6.6. Asfalta pastiprināšana ar ģeosintētiku

2016. gada publikācijā "Asfalta pastiprināšana ar ģeosintētiku: projektēšanas metodika un Lielbritānijas pieredze" tika veikts salīdzinājums asfalta seguma pastiprināšanai ar austu tērauda sietu un citiem ģeosintētiskiem materiāliem (ģeorežģiem un ģeokompozītiem).



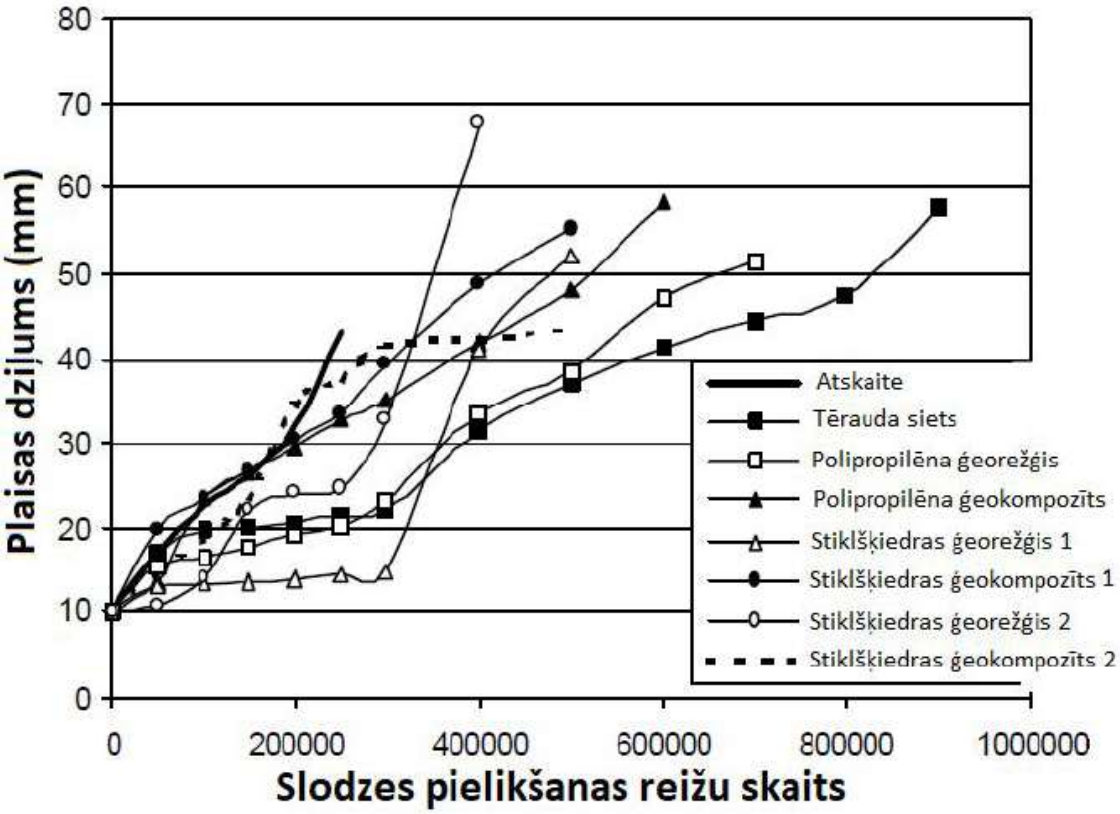
3-6.27. attēls Tērauda sieta ģeometriskie parametri [60]

Tērauda sietu veido tērauda stiegras ar diametru 2.40 mm un šķērsvirziena stiegrojuma stieņi ar diametru 4.40 mm. Sieta maksimālā stiepes stiprība ir 40 kN/m. Sešstūra sieta nominālais acs izmērs ir 80 x 100 mm, siets tiek aizsargāts no korozijas ar cinka pārklājumu. Tērauda sietu izbūvē vismaz 6 cm biezas kārtas apakšā.

Publikācijā norādīts, ka asfalta pastiprināšanas mehānisms ir zināms un ir plaši pētīts, taču pašlaik asfalta pastiprināšanas paņēmieni lielākajā pasaules daļā nav pilnībā aprakstīti standartā vai metodiskos norādījumos. Pašlaik netiek izmantota standartizēta aprēķina metodika, lai aprēķinātu patiesos ieguvumus no asfalta kārtu pastiprināšanas, kas noved pie tuvinātiem aprēķiniem kalpošanas spējas pagarinājumam, balstoties uz iepriekšējo pieredzi, vai paaugstinātam drošuma līmenim, nemainot kalpošanas laiku.

Publikācijā aprakstīti divi principiāli testi, salīdzinot stiklašķiedras, polimēru režģus un dubultsavītu tērauda sietu ar nepastiprinātu atskaites paraugu.

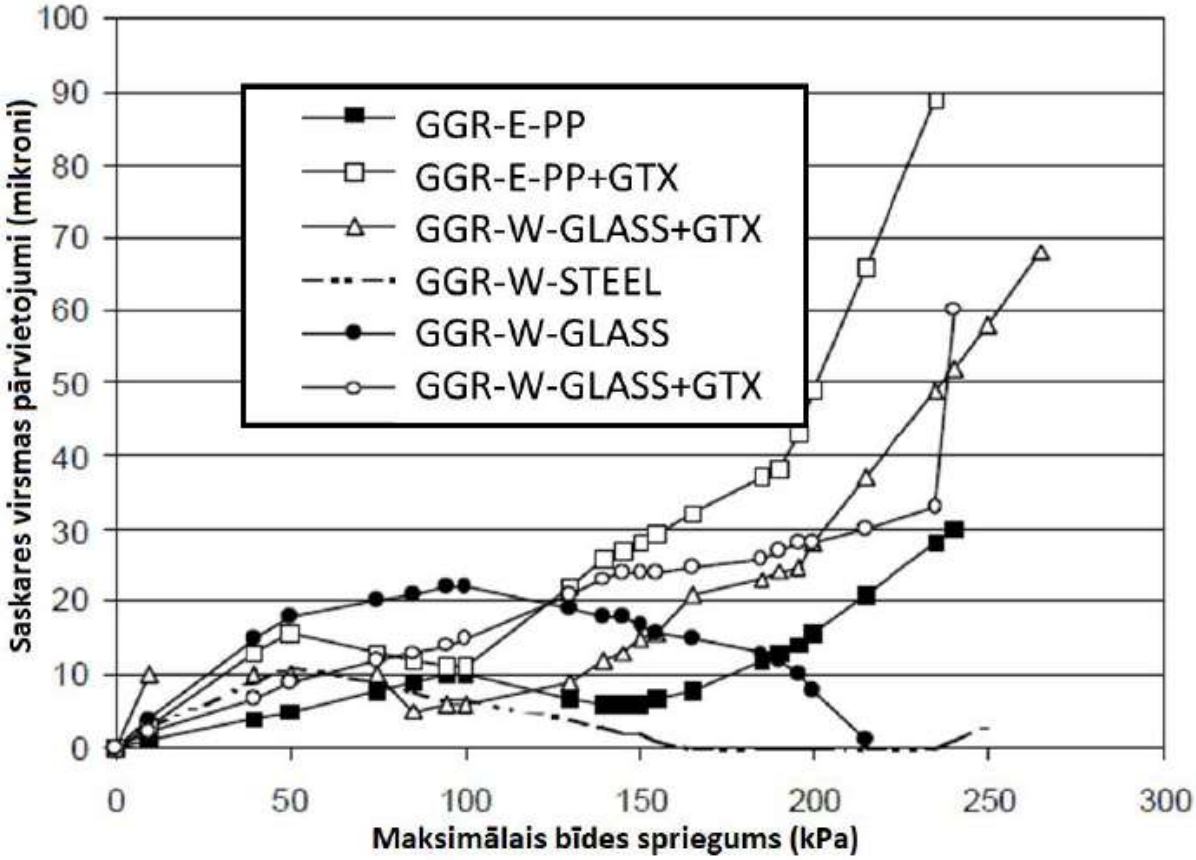
Vienā testā tika izmantota Notingemas seguma testēšanas iekārta, lai demonstrētu pastiprināta seguma darbību zem satiksmes riteņa slodzes. Asfalta biezums tika projektēts tāds, lai zem riteņa slodzes radītu deformāciju līmeni, kas novestu pie relatīvi ātras plaisu veidošanās. Dažādi pastiprinājuma veidi atbilstoši specifikācijai tika ievietoti asfaltā. Daļēji nepārtraukti balstītas sijas tests atdarina plaisāšanas spriegumu sadalījumu segumā.



3-6.28. attēls Plaisu izplatīšanās dažādiem pastiprinājuma veidiem [60]

Rezultāti rādīja, ka pastiprinājums var būtiski paaugstināt asfalta pretestību plaisu attīstībai, nodrošinot kalpošanas laika pieaugumu līdz 3 reizēm (tērauda sietam). Risu ierobežošanā, tērauda siets un polimēru režģis darbojās līdzvērtīgi, nodrošinot uzlabojumu aptuveni 2 reizes. Stiklšķiedras režģiem bija ļoti maza ietekme uz risu veidošanos.

Otrs tests bija saiste starp pastiprinājumu un asfaltu.



3-6.29. attēls Bīdes testa rezultāti saistes īpašību novērtēšanai dažādiem materiāliem [60]

3-6.29. attēlā parādīts Notingemas Universitātē veikto atkārtotas slodzes bīdes testu rezultātu kopsavilkums, kurā bīdes deformācijas salīdzinātas ar bīdes spriegumiem. Izmantoto materiālu apzīmējumi: GGR-E-PP – ekstrudēts polipropilēna ģeorežģis, GGR-E-PP+GTX – ekstrudēts polipropilēna ģeokompozīts, GGR-W-GLASS+GTX – austs stiklašķiedras ģeokompozīts, GGR-W-GLASS – austs stiklašķiedras ģeorežģis, GGR-W-STEEL – dubultsavīts sešstūra tērauda siets. Attēlā redzams, ka ģeokompozītiem ir mazāks bīdes noturības stingums, jo ģeokompozītā izmantotais ģeotekstils ierobežo režģa saslēgšanos ar pildvielām salīdzinājumā ar ģeorežģiem bez pievienotiem materiāliem.

Šajā publikācijā piedāvātā projektēšanas metodika asfalta seguma pastiprināšanai ir empīriski mehānisks process un balstīts uz Lielbritānijas lielceļu administrācijas pasūtītu pētījumu, kura rezultātā radīta datorprogramma seguma pastiprināšanas projektēšanai.

Piedāvātā metodika un datorprogramma saucas “OLCRACK” un izmanto lineāri elastīgu noguruma plaisu modeli, kas ir atvasināts no pētījumiem un modelēšanas Notingemas Universitātē. Tomēr, ja kritiskās kārtas kalpošanas laiks ir aprēķināts ar citiem paņēmieniem, kalpošanas laika pieaugums no pastiprinājuma var tikt piemērots, izmantojot to pašu pieauguma koeficientu.

Publikācijā norādīts, ka tērauda sietu darbība asfalta segumos pēdējos 15 gados ir pētīta vairākos pasaules universitāšu izpētes projektos, kas noslēgti ar empīriskas projektēšanas metodoloģijas izstrādi pastiprinātiem segumiem. Metodoloģija pārbaudīta ar galīgo elementu metodes aprēķina rezultātiem.

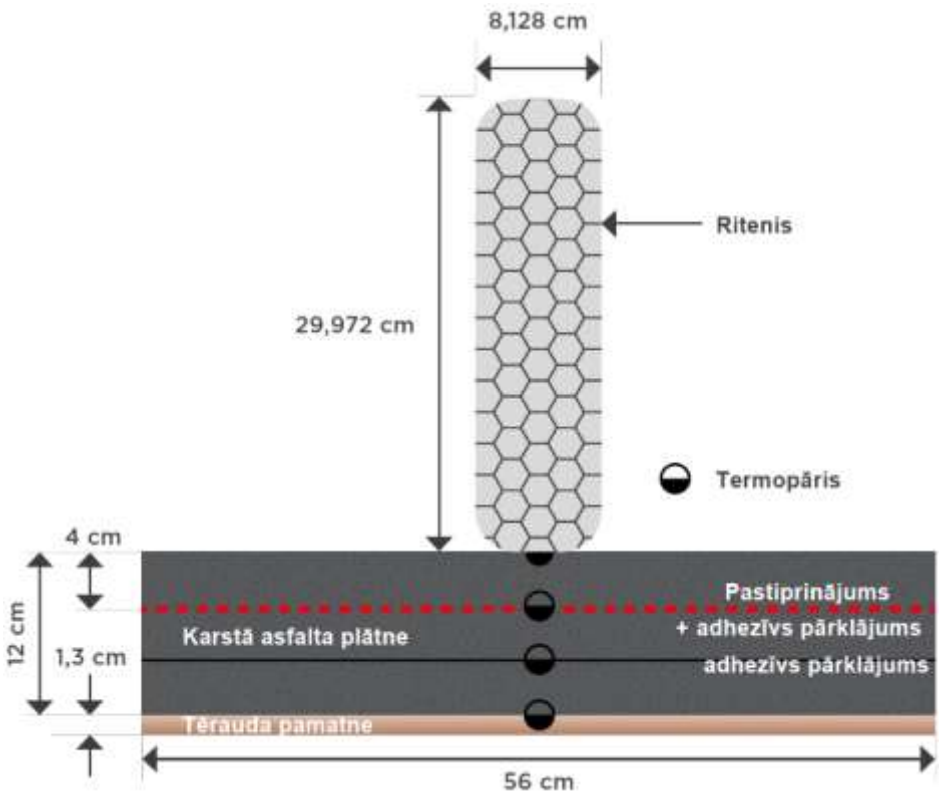
Galvenie izpētes projektu rezultāti:

- Notingemas Universitāte, Lielbritānija: pastiprināta seguma kalpošanas laiks no noguruma radītiem defektiem palielinās līdz 3 reizēm;
- Kagliari Universitāte, Itālija: pastiprinājums seguma kalpošanas laiku palielina no 3 līdz 12 reizēm;
- Virdžīnijas Tehniskā Universitāte; ASV: plaisāšanas ierosinājuma faktori tiek uzlaboti no 1.15 līdz 3.6 reizēm;
- Katānijas Universitāte: plaisāšanas ierosinājums tiek uzlabots no 1.36 līdz 1.52 reizēm;
- Parmas Universitāte, Itālija: virsmas plaisāšana ir samazināta par 65%;
- Palermo Universitāte: bīdes spriegumi (risu veidošanās) ir samazināti par 50%

3.6.7. Seguma pastiprināšana ar ģeorežģi (ASV, Francija)

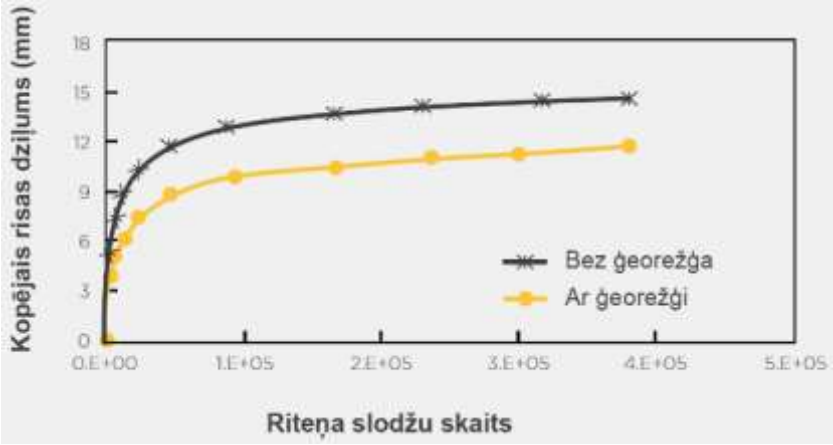
Risu veidošanās

Risu veidošanās ar stikla šķiedras ģeorežģi ir novērtēta, izmantojot vienas trešdaļas mēroga modeļa mobilo slodzes simulatoru (MMSL3). Risu veidošanās tests tika veikts Ziemeļkarolīnas štata Universitātē. Šajā testā tika izmantots S9.5B maisījums, ko veido pildvielas ar 9.5 mm maksimālo izmēru un PG 64-22 un CRS-2 klases saistviela, no kura tika izgatavotas karstā asfalta maisījuma plātnes. Asfalta pastiprināšanai tika izmantots stiklašķiedras ģeorežģis, kā parādīts 3-6.30. attēlā.



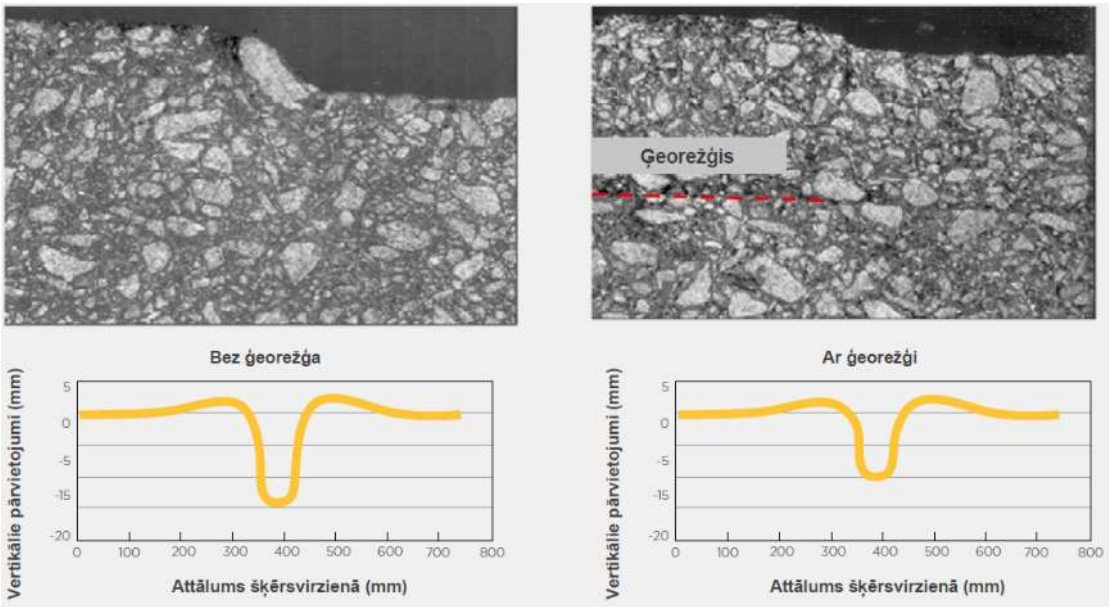
3-6.30. Seguma testēšanas šķērsgriezums [61]

Risas dziļuma pieaugums un šķērsprofils tika novēroti pastiprinātā paraugā un nepastiprinātā atskaites paraugā pēc noteikta slodzes pielikšanas skaita pie temperatūras 50°C. Rezultāti ir apkopoti 3-6.31. attēlā.



3-6.31. Risas dziļums pēc 400 tūkstošiem MMLS3 slodzes reizēm [61]

Risu šķērsprofilu, kas parādīti 3-6.32. attēlā, pārbaude norādīja, ka ar stiklašķiedras režģi pastiprinājums ne tikai samazina lejup virziena risas dziļumu (26% samazinājums), bet arī samazina uzkalniņus bīdes deformāciju zonā, tādējādi samazinot kopējo risas dziļumu (25% samazinājums).



3-6.32. attēls Paraugu šķērsprofili pēc 400 tūkstošiem MMLS3 slodzes reizēm [61]

Plaisāšana

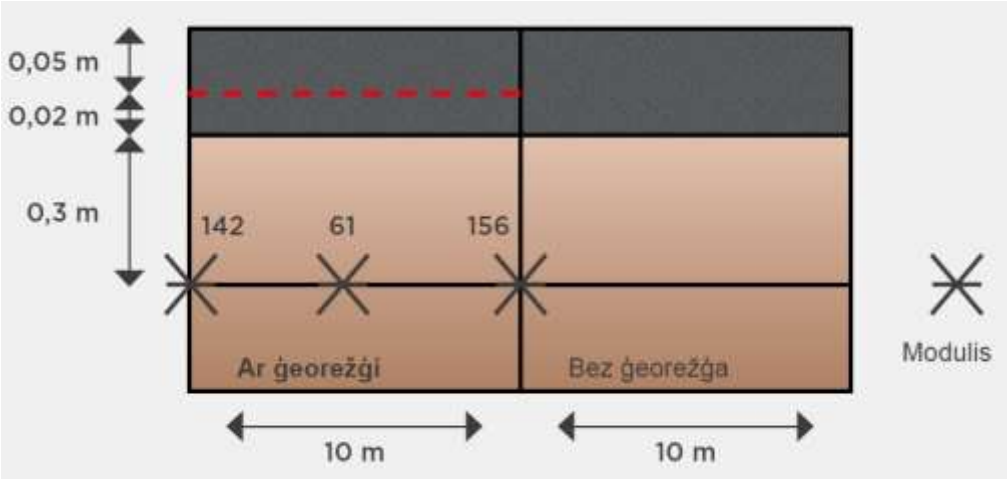
LCPC paātrinātā seguma testēšanas iekārta Nantē, Francijā ir ārtelpu apļveida karuselis ar 40 metru diametru. Instalācija sastāv no centrālā 750kW motora un četriem atzariem, kas pārvieto riteņa slodzes, kas var sasniegt 100 km/h maksimālo ātrumu. Eksperimentālajam segumam ir 17,5 m vidējais rādiuss un 6 m platums, tātad kopējais garums aptuveni 110 m. Uz katra atzara var regulēt slodzes rādiusu, lai vienlaikus pārbaudītu dažādas slodzes konfigurācijas. Slodzes pielikšanas laikā var tikt pieļautas tās sānu novirzes. Atzari var tikt aprīkoti ar dažādām slodzes konfigurācijām: viens ritenis vai dubultritenis, vienass, tandēma vai tridēma asis. Var tikt pieliktas plaša diapazona slodzes: no 40 kN līdz 80 kN uz vienas pusass un līdz 135 kN uz vairākām asīm. Ļoti zemas stingrības amortizācijas sistēma ļauj turpināt testu uz segumiem, kas jau rāda nopietnus bojājumus.

Testi tika veikti uz tipiskas Francijas zemas satiksmes intensitātes ceļa segas konstrukcijas. Katras konstrukcijas posms bija 10 m un to veidoja:

- Bituminēta dilumkārta (70 mm bieza);
- Šķembu pamats (300 mm biezs);
- Smilšaina zemes klātnes grunts ar nestspēju aptuveni 95 MPa.

Pastiprinātajā posmā sākotnēji tika uzklāta 2 cm bieza bituminēta kārta. Stiklašķiedras režģis tika novietots uz šīs pirmās kārtas, un tika uzklāts lipīgs pārklājums. Tad režģis tika pārklāts ar otru 5 cm biezu bituminētu kārtu. Nepastiprinātajā posmā tika uzklātas tās

pašas kārtas (2 cm + pārklājums + 5 cm), bet bez ģeorežģa. Bitumenizētā kārta ir standarta Francijas 0/10 mm dilumkārta ar 5,5% 35/50 bitumena.

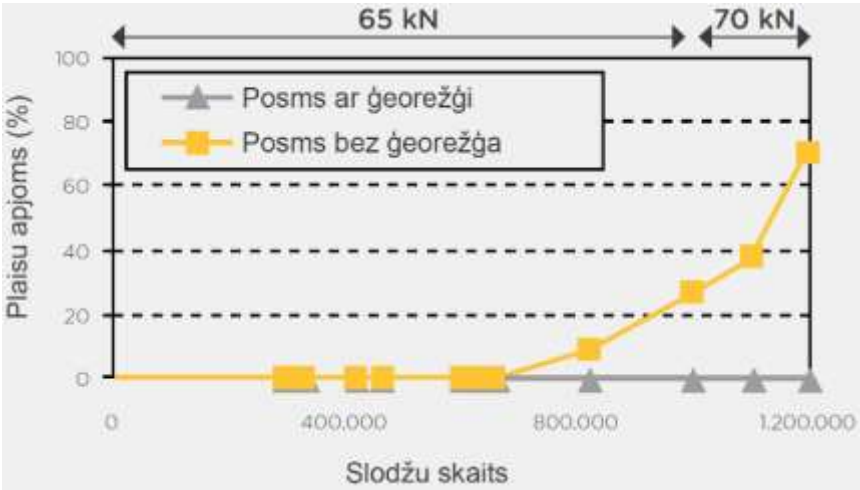


3-6.33. Testa segas konstrukcijas [61]

Slogošanas programma tika sākta 2011. gada aprīlī, un līdz 2011. gada septembrim tika pieliktas aptuveni 1 000 000 standarta 65 kN dubultriteņa slodzes. Pēc tam papildus 200 000 slodzes cikli tika pielikti ar līdz 70 kN palielinātu slodzi. Eksperimenta laikā slogošana tika pārtraukta aptuveni ik pēc 100 000 cikliem, lai veiktu dažādus bojājumu mērījumus (risas dziļums, plaisu apjoms).

Nepastiprinātajā posmā pirmās plaisas tika novērotas pēc aptuveni 800 000 slodzes cikliem. Līdz 1,2 miljoniem slodzes cikliem plaisu daudzums regulāri palielinājās, sasniedzot 70% testa beigās. Šajā posmā tika novērots šāds plaisu veidošanās process: sākumā parādījās ļoti smalkas atsevišķas šķērsvirziena plaisas. Tad zem satiksmes šīs plaisas sāka atvērties un sāka atdalīties smalkas daļiņas. Blakus šīm plaisām sāka attīsties citas smalkas plaisas. Šķērsvirziena orientācija ir tipiska noguruma plaisām, kas novērotas karuselī plānām bituminētām kārtām.

Pastiprinātajā posmā plaisas netika novērotas līdz testa beigām. Rezultāti rāda, ka stiklašķiedras režģi būtiski uzlabo bituminētas kārtas pretestību plaisāšanai. Abi posmi testa beigās ir redzami 3-6.35. attēlā. Testa rezultātu kopsavilkums redzams 3-6.34. attēlā.



3-6.34. Plaisu apjoms [61]

3-6.35. Nepastiprinātais un pastiprinātais posms testa beigās [61]

3.6.8. Ģeorežģa segumā frēzēšana

RWTH Āhenes Universitātē Ceļu un Satiksmes inženierijas institūtā tika veikta izpēte par pastiprinošās kārtas frēzējamību. Šajā izpētes objektā visas segas konstrukcijas tika uzbūvētas atbilstoši RStO prasībām. Uz Salizturīgā slāņa un esošas asfalta apakškārtas tika uzklāta 10 cm asfalta AC 16 B S saistes kārta. Pēc tam tika izbūvēts stiklašķiedras ģeorežģis atbilstoši ražotāja uzstādīšanas vadlīnijām. Visbeidzot tika izbūvēta 4 cm bieza SMA 8 S virskārta. Lai izpētītu asfalta pastiprināšanas ģeorežģa ietekmi uz asfalta konstrukcijas demontāžu, tika izvēlēts 6 cm dziļš frēzēšanas dziļums, lai asfalta virskārta un saistes kārtas augšējā daļa, ieskaitot pastiprinājuma režģi tiktu noņemta vienā frēzes gājienā.

Testā tika konstatēts:

- Frēzēšanas tests paredzētajā dziļumā varēja tikt pilnībā realizēts;
- Uz frēzēšanu nebija negatīvas ietekmes no inženierijas skatpunkta;
- Frēzēšanas cilindram nebija acīmredzamu pazīmju attiecībā uz pielipušām vai sapinušām šķiedru dzīslām;
- Frēzētais materiāls uzrādīja smalku izmēru sadalījumu, no kuriem stikla šķiedras pavedieni bija vienmērīgi sadalīti asfalta granulometrijā.
- Piecu paraugu analīzē vidējais šķiedras garums bija aptuveni 14 cm, bet šķiedru saturs aptuveni 1,0 masas % no kopējās masas. Šķiedras bija no 2 līdz 20 cm garas.

3-6.36. Frēzētais asfalts bez un ar ģeorežģi [61]

3.6.9. Ģeokompozīta segumā frēzēšana un atkārtota izmantošana

Atbilstoši Rostokas Universitātes ekspertu atzinumam [63], 2007. gada novembrī uzņēmuma "Horstmann" telpās asfalta segumu starpkārtu izstrādājumiem tika veikti dažādi testi, tai skaitā monolīta augsta profila polipropilēna ģeokompozīta un ģeorežģa frēzējamība, kā arī atkārtota izmantošana. Tika uzbūvēti 10 m gari un 3 m plati izmēģinājuma posmi. Asfalta starpkārta tika izbūvēta atbilstoši ražotāja uzstādīšanas instrukcijai. Izmēģinājuma posma segas konstrukcija:

- 6 cm asfalta apakškārta 0/22 (bitumena klase 30/45);
- Asfalta starpkārta;
- 6 cm asfalta saistes kārta 0/22 (bitumena klase 30/45);
- 4 cm asfalta dilumkārta.

Frēzēšanas darbus veica uzņēmums “Horstmann” 2007. gada 30. novembrī, izmantojot frēzēšanas iekārtu (Wirtgen W1000F) ar darba platumu 1 m un standarta pārvietošanās ātrumu. Katrs izmēģinājuma posms tika frēzēts 3 dažādos dziļumos:

- 1 cm virs asfalta starpkārtas;
- Asfalta starpkārtas līmenī;
- 1 cm zem asfalta starpkārtas.

Frēzēšanas process ar asfalta starpkārtu netika ietekmēts nevienā frēzēšanas dziļumā. Frēzēšanas rezultātā ieguva smalkgraudainu materiālu. Atlikušās sintētiskās starpkārtas daļiņas joprojām varēja noteikt, to garums bija vidēji 5cm. Projekta dalībnieki frēzēšanas testos novērtēja iegūto materiālu kā pārstrādājamu izmantošanai asfalta apakškārtās un saistes kārtās ar biezumu no 6 cm.

Līdzīgas pārbaudes 2014. gada novembrī veica “GfB Baustoffprüfstelle Erft-Labor GmbH” testēšanas centrs. Frēzēšanas un atkārtotas materiāla izmantošanas iespējas tika pārbaudītas 30 m x 2.8 m izmēģinājuma posmā. Uz 10 cm asfalta AC 22 T S apakškārtas tika izbūvēts augsta profila monolīts polipropilēna ģeokompozīts atbilstoši uzstādīšanas instrukcijai un nosegts ar 6 cm AC 8 D N asfalta virskārtu. Izmēģinājumā tika dokumentētas un novērtētas šādas īpašības:

- Asfalta virskārtas frēzēšana ar frēzēšanas iekārtu W50DCi;
- Procentuālā sadalījuma noteikšana šķiedru garumiem frēzētajā asfaltā;
- Asfalta AC 8 D N ražošana rūpnīcā, pievienojot 30% frēzētā asfalta ar ģeokompozīta atlikumiem, kā arī atskaites parauga izgatavošana, pievienojot 30% frēzētā asfalta bez ģeokompozīta atlikumiem.
- Asfalta maisījumu kvalitātes noteikšana atbilstoši Māršala metodei.

Izmēģinājumu kopsavilkumā [64] tika secināts, ka frēzējot asfalta ģeokompozīts neradīja nekādas problēmas. Ģeokompozīta frēzēto šķiedru garumu var ietekmēt, mainot frēzēšanas iekārtas pārvietošanās ātrumu. Ir izdevīgi frēzēšanas dziļumu paredzēt zem asfalta starpkārtas līmeņa. Ģeokompozīta šķiedru garums bija līdz 10 cm. Saistīti ģeokompozīta gabali netika savākti ar frēzēšanas iekārtas konveijeru un palika uz frēzētās virsmas. Reālos apstākļos ieteicams utilizēt ģeokompozīta atlikumus uz frēzētās virsmas un nesavākt tos atkārtotai pārstrādei.

Asfalta maisījuma ražošana ar frēzēto asfaltu ar ģeokompozīta atlikumiem neradīja problēmas. Atlikušo šķiedru garums maisīšanas procesā tika būtiski samazināts.

Pamatojoties uz veiktajiem testiem, pēc tam netika konstatēta negatīva ietekme uz maisījuma sablīvēšanas īpašībām.

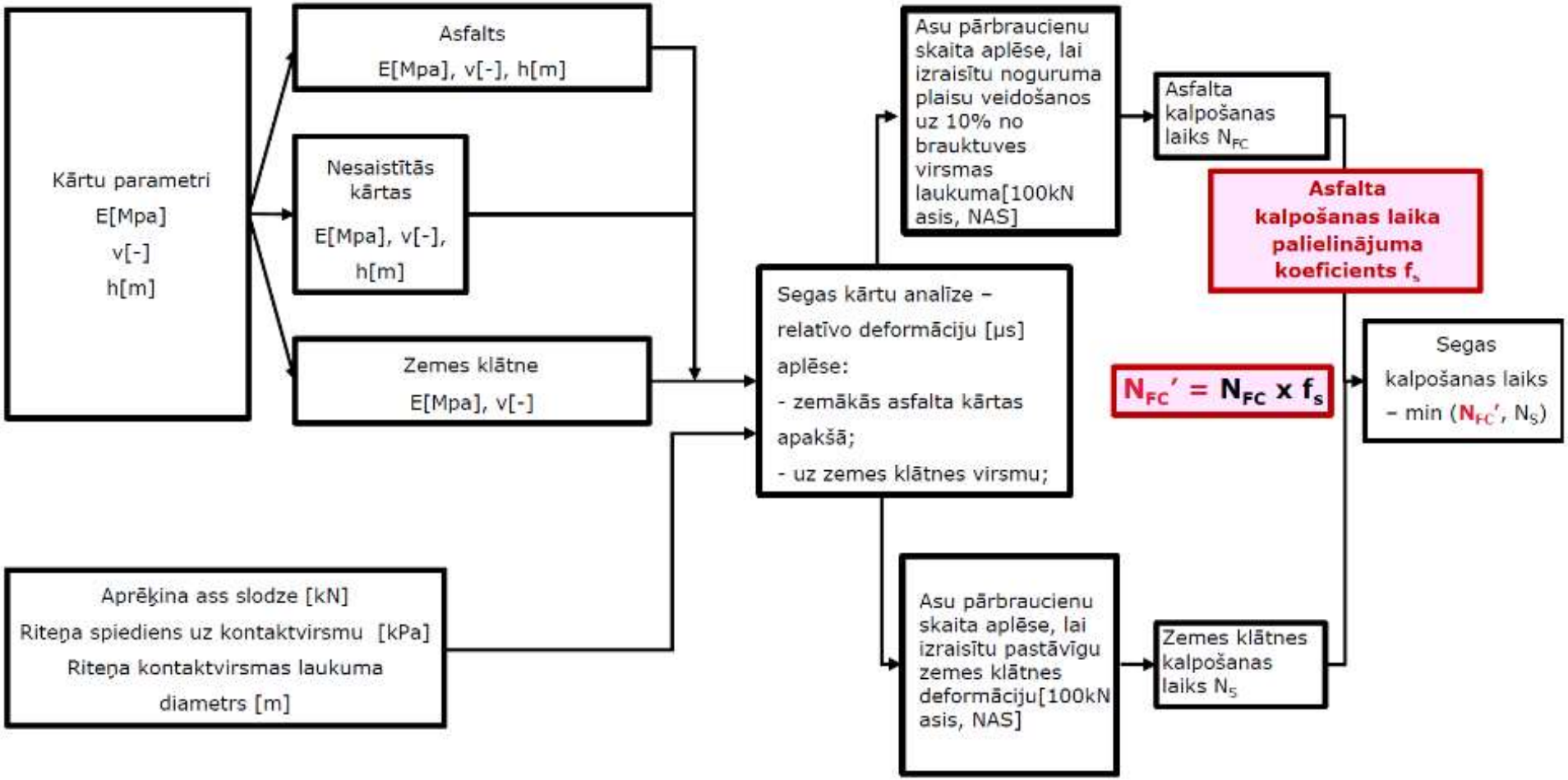
Kopumā netika novērota negatīva ietekme frēzēšanas vai asfalta maisīšanas procesā, un asfalta paraugiem ar frēzēto asfaltu un polipropilēna ģeokompozīta atlikumiem veikto testu rezultāti nerādīja nekādas anomālijas.

3.6.10. Ģeokompozīta aprēķina piemērs

Aprēķins tika veikts Aleksandra Čaka ielas Rīgā seguma atjaunošanai, piesaistot ārzemju konsultantus. Šobrīd pasaulē nav izstrādāta konkrēta metodika ģeosintētisko materiālu ievērtēšanai asfalta kārtu izbūvē. Šajā nodaļā aprakstītā metodika varētu būtu kā viens no iespējamajiem variantiem.

Vispārīgi

Esošā asfalta atjaunošanas posms ir izstrādāts, izmantojot Mehāniski-empīrisko projektēšanas metodi (M-E metode), skatīt zemāk 3-6.37. attēlā. Ar ERA-PAVE programmatūru ir veikti esošā seguma deformāciju un kalpošanas ilguma aprēķini. Ir izmantotas divas labi zināmas pārneses funkcijas: AASHTO 2004 Transfer Function asfalta noguruma plaisāšanai un Asphalt Institute Transfer Function pastāvīgai pamatnes deformācijai. Jaunā asfalta seguma pastiprināšanā, izmantojot ģeokompozīta materiālu – divasu un trīsasu ģeorežģi seguma kalpošanas laika palielināšanai, ir ņemta vērā arī tā sauktā modificētā M-E metode, ko izstrādāja Tensar kompānija, pamatojoties uz testu rezultātiem, tai skaitā asfalta seguma testiem, ko veicis prof. S.F. Brauns (S. F. Brown) no Notingemas Universitātes Apvienotajā Karalistē 1985. gadā.



3-6.37. Mehāniski – empīriskās projektēšanas shēma

Segas konstrukcija

Projektā pieņemtās segas konstrukcijas pamats pastiprināts ar ģeokompozītu. Pamatā paredzēts trīsasu ģeorežģis. Konstrukcija ir šāda:

- Asfalta dilumkārta AC 11 surf 4 cm;
- Asfalta saistes kārta AC 22 bin/base 6 cm (poru saturs max 6 %, bitumena saturs min 4,4 %);
- Ģeokompozīts ar trīsasu ģeorežģi vai Ģeokompozīts ar divasu ģeorežģi;
- Asfalta izlīdzinošā kārta AC 11 bin/base≥2.5 cm (poru saturs max 6 %, bitumena saturs min 4,4 %);
- Esoša segas konstrukcija pēc izlīdzinošās frēzēšanas (pieņemta saskaņā ar ģeoloģiskās izpētes datiem):
    - Esošā asfalta kārta (atlikums pēc izlīdzinošās frēzēšanas 10-12 cm) 5 cm;
    - Esošā nesaistītu minerālmateriālu kārta 25 cm;
    - Esošā salizturīgā kārta 70 cm.
- Zemes klātnes pieņemtā nestspēja $E_{v2} \geq 50$ MPa;

Segas kārtu parametri

Segas konstrukcijas kārtu parametri un raksturlielumi ir noteikti, ņemot vērā ārzemju konsultantu zināšanas un pieredzi asfalta seguma projektēšanā:

3-6.3. tabula. Segas konstrukcijas kārtu parametri

Slānis	Modulis E [MPa]	Puasona koeficients [-]
Asfalta dilumkārta AC 11 surf	9300	0,30
Asfalta saistes kārta AC 22	10300	0,30
Asfalta izlīdzinošā kārta AC 11	9800	0,30
Esošā asfalta kārta	3500	0,30
Esošā nesaistītu minerālmateriālu kārta	350	0,30
Esošā salizturīgā kārta	120	0,30
Pamatnes gruntis	50	0,35

(poru saturs max 6%, bitumena saturs min 4,4% no masas, 11% no tilpuma)

Satiksmes intensitāte

Satiksmes intensitātes piegums pieņemts sekojošs:

- 1% gadā - Autobusi un Trolejbusi;
- 3% gadā – Smagās kravas automašīnas un Kravas transports ar piekabēm.

Nepieciešamais seguma kalpošanas laiks tika aprēķināts, balstoties pēc šādiem datiem.

3-6.4. tabula. Satiksmes intensitātes dati

Transport-līdzekļa tips	Transport-līdzekļa koeficents 100kN (NAS)	2015. gads: transportlīdzekļi/24h	Skaits 100kN (NAS) 2015. gadā	NAS / 24H 2020	NAS / 24H 2040	NAS / 24H 2030	Kumula-tīvā NAS/24h 2030	Kumula-tīvā NAS/20 gadi
Autobusi	1,35	707	954	1003	1223	1113	4709	343 757 00
Trolejbusi	1,35	954	1288	1354	1652	1503		
Smagās kravas automašīnas	1,22	978	1193	1383	2498	1941		
Kravas transports ar piekabēm	2,74	34	93	108	195	152		

Aprēķina ass slodze

Aprēķinos izmantota 100 kN standarta viena ass ar vienu riteni ar šādiem slodzes parametriem:

- Aprēķina ass slodze – 100 kN;
- Aprēķina slodze uz riepu – 50 kN;
- Riteņa spiediens uz kontaktvirsmu – 0,850 MPa.

Aprēķina metode

Izmantota Mehāniski-empīriskā projektēšanas metode. Aprēķins veikts ar ERA-PAVE programmatūru. Segas kalpošanas laiks ir aprēķināts: AASHTO 2004 AA Transfer Function for Asphalt fatigue cracking, and Asphalt Institute Transfer Function for Permanent subgrade deformation.

- Asfalta kārtu noguruma plaisas

$$N_f = 7.3557(10^{-6})Ck_1`(\frac{1}{\varepsilon_t})^{3.9492}\left(\frac{1}{E}\right)^{1.281}$$

Kur:

N_f – asu pārbraucienu skaits, lai izraisītu noguruma plaisu veidošanos uz 50% no brauktuves virsmas laukuma.

E – zemākās asfalta kārtas elastības modulis (MPa);

ε_t – horizontālās stiepes spriegumi asfalta kārtas apakšā (μs);

k_1` - koeficients, kas saistīts ar asfalta kārtu biezumu, nosakāms pēc sekojošas formulas:

$$k_1^{`} = \frac{1}{0,000398 + \frac{0,003602}{1+e^{(11.02-1,374\,h_{ac})}}}$$

Kur:

h_{ac} – kopējais asfalta kārtu biezums segas konstrukcijā;

C – koeficients, kas saistīts ar bitumena un poru saturu zemākajā asfalta kārtā, nosakāms pēc sekojošas formulas:

$$C = 10^{M}$$

$$M = 4,84\left(\frac{V_B}{V_B + V_{v)}} - 0,69\right)$$

Kur:

V_B – bitumena saturs apakšējā asfalta kārtā no tilpuma (%);

V_V – poru saturs apakšējā asfalta kārtā (%);

$$N_{FC} = DN_f$$

N_{FC} –asu pārbraucienu skaits, lai izraisītu noguruma plaisu veidošanos uz 10% no brauktuves virsmas laukuma.

D - koeficients, kas saistīts, lai aprēķinātu noguruma plaisu veidošanos uz 10% no brauktuves virsmas (FC=10).

$$D = \frac{1}{100}10^{\ln\left(\frac{100}{FC}-1\right)}\frac{1}{C_2^{`}} + 2$$

$C^{`}_2$ - koeficients, kas saistīts ar asfalta kārtu biezumu

$$C_2^{`} = -2.40874 - 39.748(1 + \frac{h_{ac}}{2.54})^{-2.856}$$

- Zemes klātnes deformācija:

$$N_{DEF} = \left(\frac{k}{\varepsilon POD}\right)^{\frac{1}{m}}$$

Kur:

N_{DEF} – pārbraucienu skaits, lai izraisītu patstāvīgu 12.5mm zemes klātnes deformāciju;

εPOD – vertikālās deformācijas uz zemes klātnes virsmas (μs);

k, m – empīriski koeficienti;

$$k = 1,05 \cdot 10^{-2}$$

$$m = 0,223$$

<u>Nogurumu laika palielināšana, pastiprinot ar ģeokompozītu</u>

Ģeokompozīta izmantošana asfalta kārtās ievērojami palēnina plaisu izplatīšanos. Balstoties uz pētījumiem, ir pierādīts, ka ģeokompozīta pielietojums var palielināt noguruma ilgumu ar ietekmes koeficientu līdz pat 10. Koeficients var mainīties atkarībā no

ģeokompozīta atrašanās vietas asfalta kārtās. Tomēr tiek ievērots galvenais noteikums, kas ir: jo dziļāk asfalta slānī ģeokompozīts atrodas, jo lielāku ietekmes koeficientu var sasniegt. Balstoties uz ilgtermiņa zināšanām un pieredzi, kā arī no praktiskā viedokļa ir noteikts, ka ietekmes koeficients, lai palielinātu segas konstrukcijas kalpošanas periodu, jāpieņem diapazonā no 1.5 līdz 3.0. Dotajā aprēķinā ietekmes koeficienti ir pieņemti:

- 2.0 divasu ģeokompozītam;
- 3.0 trīsasu (sešstūra) ģeokompozītam.

Aprēķina process

Kā pirmais solis ir aprēķināts esošā seguma mūža ilgums. Pēc tam segums ir pastiprināts vai optimizēts (seguma kalpošanas laiks tika palielināts ar koeficientu 1.5 un tad 2.0, kam sekoja asfalta noguruma plaisu pārnešanas funkcija) izmantojot gan (divasu ģeorežģi), gan arī (trīsasu ģeorežģi) ģeokompozītus.

Esošā seguma kalpošanas laika aprēķināšana

Izmantota ERA-PAVE programmatūra:

- Izejas dati (Materiālu īpašības)

3-6.5. tabula. Aprēķinā pieņemtie materiālu raksturlielumi

Seguma ID	Biezums	Modulis [MPa]	Puasona koeficients [-]	Vienības svars [KN/m^3]
1	4	9300	0.3	25
2	6	10300	0.3	25
3	2.5	9800	0.3	25
4	5	3500	0.3	23
5	25	350	0.3	23
6	70	120	0.3	23
7	1.00E+300	50	0.35	23

- Aprēķina ass definēšana: Viena ass ar vienu riteni
- Saskares spiediens [kPa] = 850
- Aprēķina ass slodze [kN] = 100

- Slodze un spriegumi:

3-6.6. tabula. Aprēķina rezultāti, slodze un pārvietojums no ERA-PAVE programmatūras

x [cm]	y [cm]	z [cm]	szz [kPa]	sxx [kPa]	syy [kPa]	sxz [kPa]	syz [kPa]	sxy [kPa]	wz [cm]
0	0	9.99	368.917	-492.206	-492.206	0	0	0	0.04189
0	0	12.49	238.666	-1067.07	-1067.07	0	0	0	0.0417
0	0	112.51	6.734	-0.782	-0.782	0	0	0	0.0249

Relatīvās deformācijas:

3-6.7. tabula. Aprēķina rezultāti, spriegumi no ERA-PAVE programmatūras

x [cm]	y [cm]	z [cm]	ezz [1e-3]	exx [1e-3]	eyy [1e-3]	exz [1e-3]	eyz [1e-3]	exy [1e-3]
0	0	9.99	0.064	-0.044	-0.044	0	0	0
0	0	12.49	0.09	-0.084	-0.084	0	0	0
0	0	112.51	0.146	-0.057	-0.057	0	0	0

- Aprēķinātais segas konstrukcijas kalpošanas laiks bez ģeokompozīta izmantošanas:

3-6.8. tabula. Aprēķina rezultāti bez ģeokompozīta pielietošanas

Horizontālā stiepes deformācija asfalta kārtu pamatnē [μs]	84
Seguma kalpošanas laiks (N_{FC}) – asfalta slāņu noguruma plaisāšana [100 kN asis, NAS]	16 345 241
Vertikālās spiedes deformācija uz zemes klātnes [μs]	146
Seguma kalpošanas laiks – pastāvīgā zemes klātnes deformācija [100 kN asis, NAS]	121 139 149
Kopējais seguma kalpošanas laiks [100 kN, NAS]: bez pastiprināšana ar ģeokompozītu	16 345 241
Kopējais projektētais segas kalpošanas laiks [100 kN, NAS]	34 375 700

- Aprēķinātais segas konstrukcijas kalpošanas laiks ar divasu ģeokompozīta pielietošanu:

3-6.9. tabula. Aprēķina rezultāti ar divasu ģeokompozīta pielietošanu

Horizontālā stiepes deformācija asfalta kārtu pamatnē [μs]	84
Seguma kalpošanas laiks (N_{FC}) – asfalta slāņu noguruma plaisāšana [100 kN asis, NAS]	16 345 241
Vertikālās spiedes deformācija uz zemes klātnes [μs]	146
Seguma kalpošanas laiks – pastāvīgā zemes klātnes deformācija [100 kN asis, NAS]	121 139 149
Kopējais seguma kalpošanas laiks [100 kN, NAS]: pastiprināšana ar divasu ģeokompozītu	32 690 482
Kopējais projektētais segas kalpošanas laiks [100 kN, NAS]	34 375 700

- Aprēķinātais segas konstrukcijas kalpošanas laiks ar trīsasu ģeokompozīta pielietošanu:

3-6.10. tabula. Aprēķina rezultāti ar trīsasu ģeokompozīta pielietošanu

Horizontālā stiepes deformācija asfalta kārtu pamatnē [μs]	84
Seguma kalpošanas laiks (N_{FC}) – asfalta slāņu noguruma plaisāšana [100 kN asis]	16 345 241
Vertikālās spiedes deformācija uz zemes klātnes [μs]	146

Seguma kalpošanas laiks – pastāvīgā zemes klātnes deformācija [100 kN asis, NAS]	121 139 149
Kopējais seguma kalpošanas laiks [100 kN, NAS]: pastiprināšana ar trīsasu ģeokompozītu	49 035 723
Kopējais projektētais segas kalpošanas laiks [100 kN]	34 375 700

∇ Secinājumi:

Pieļaujamais pārbraucienu skaits līdz asfalta kārtās izveidojas noguruma plaisas ir 16,345 mlj. NAS, kas ir pārāk mazs salīdzinājumā ar aprēķināto segaskalpošanas laiku. Pārbraucienu skatu var palielināt izmantojot 2 variantus:

- Divasu ģeokompozītu, palielinot pārbraucienu skaitu līdz 32,690 mlj. NAS;
- Trīsasu ģeokompozītu, palielinot pārbraucienu skaitu līdz 49,036 mlj. NAS.

Pastāvīgā zemes klātnes deformācija [100 kN asis]: 121.139 mlj. NAS > 34.376 mlj. NAS.

Ir pierādīts, ka asfalta segumi, armēti (stabilizēti) ar ģeokompozītu ar trīsasu (sešstūru), ievērojami palielinās segas noguruma kalpošanas laiku līdz aprēķinātajam segas kalpošanas periodam.

3-6.11. tabula. Segu konstrukciju izmaksu salīdzinājums

Ar ģeokompozītu pastiprināta segas konstrukcija			Pārbūvējamā segas konstrukcija		
Nosaukums	Biezums cm	Izmaksas EUR/m2	Nosaukums	Biezums cm	Izmaksas EUR/m2
AC 11 surf	4	8.00	AC 11 surf	4	8.00
AC 22 bin	6	12.00	AC 22 bin	8	16.00
Ģeokompozīts	0.5	4.50	---	---	---
AC 11 bin	2.5	5.00	AC 32 base	12	24.00
Esošā asfalta kārta pēc frēzēšanas	5	---	Šķembu maisījums	30	15.00
Esošais šķembu pamats	25	---	Salizturīgā kārta	50	12.50
Esošā smilts kārta	70	---			
Izmaksas kopā		29.50			75.50

Tabulā 3-6.11 salīdzinātas būvniecības izmaksas segas konstrukcijai ar ģeokompozīta izmantošanu (esošās segas konstrukcijas pastiprināšanai) un no jauna izbūvējamai segas konstrukcijai (pārbūvei), pārbraucienu skaits - 49,036 mlj. NAS [100 kN asis].

3.7. Izbūves un lietošanas pieredzes piemēri

3.7.1. Reģionālais autoceļš Nr. 222 (Polija)

Projekts ir realizēts netālu no Polijas pilsētas Gdaņskas laika posmā no 2002. – 2003. gadam. Projektā izmantots monolīts augsta profila polipropilēna ģeorežģis rūpnieciski savienots ar neaustu ģeotekstilu.

3-7.1. Augsta profila monolīts divasu ģeorežģis rūpnieciski savienots ar ģeotekstilu (atvēruma izmērs 65x65mm) [48]

Projekta nosaukums	Autoceļa Nr. 222 Trabki Wlk - Godziszewo posma km 19+100 - km 21+500 pārbūve
Projekta mērķis	**Asfalta kārtu pastiprināšana**
Materiāls	Polipropilēna ģeokompozīts
Izbūves apjoms	25.000 m²
Realizācija	2002-2003
Būvdarbu veicējs	Skanska S.A.
Pasūtītājs	ZDW Gdańsk

3-7.2. Projekta dati [48]

Zemāk 3-7.3. attēlā attēlota situācija pirms seguma pārbūves:

3-7.3. attēls. Esošā situācija pirms seguma pārbūves KM 19+350 un KM 19+420 [48]

Zemāk 3-7.4. attēlā norādīta informācija par esošo segas konstrukciju. Mazākais asfalta biezums ir 9 cm, savukārt lielākais 23 cm. Esošās segas konstrukcijas nesošās pamatnes kārtas veido vidēji 10cm šķembu maisījums un 5 cm smilts kārta.

Nr. p.k.	Atrašanās vieta urbums	Kopējais asfalta kārtu biezums	Pamatnes biezums un tips	Zemes klātne
1	Km 19+100, kreisā puse	14 cm	13 cm – šķembu maisījums + 5 cm smilts	smilšmāls plastisks, smalka smilts
2	Km 19+350, kreisā puse	9 cm	7 cm – akmens bruģis + 5 cm smilts	smilšmāls plastisks, smalka smilts
3	Km 19+600, labā puse	16 cm	8 cm – šķembu maisījums + 5 cm smilts	smilšmāls plastisks, smalka smilts
4	Km 19+850, kreisā puse	11 cm	8 cm – akmens bruģis + 5 cm smilts	smilšmāls plastisks, smalka smilts
5	Km 20+100, kreisā puse	10 cm	7 cm – šķembu maisījums + 5 cm smilts	smilšmāls plastisks, smalka smilts
6	Km 20+350, labā puse	12 cm	8 cm – šķembu maisījums + 5 cm smilts	smilšmāls plastisks, smalka smilts
7	Km 20+600, kreisā puse	16 cm	10 cm – šķembu maisījums + 5 cm smilts	smilšmāls plastisks, smalka smilts
8	Km 20+850, kreisā puse	16 cm	8 cm – šķembu maisījums + 5 cm smilts	smilšmāls plastisks, smalka smilts
9	Km 21+100, labā puse	12 cm	9 cm – šķembu maisījums + 5 cm smilts	smilšmāls plastisks, smalka smilts
10	Km 21+350, kreisā puse	23 cm	11 cm – šķembu maisījums + 6 cm smilts	smilšmāls plastisks, smalka smilts
11	Km 21+500, labā puse	15 cm	7 cm – šķembu maisījums + 6 cm smilts	smilšmāls plastisks, smalka smilts

3-7.4. attēls. Dati par esošo segas konstrukciju [48]

Projekta dati

- Aprēķina periods → 10 gadi
- Intensitāte → 322 asis 100 kN/uz joslu (322 asis) x (10) x (365) = 1,17 milj. asis 100kN.
- Podłoże → smilšmāls CBR = 3,5%, E =35 MPa
- Aprēķina slodze → 100 kN/ass

Aprēķinos pieņemtā segas konstrukcija

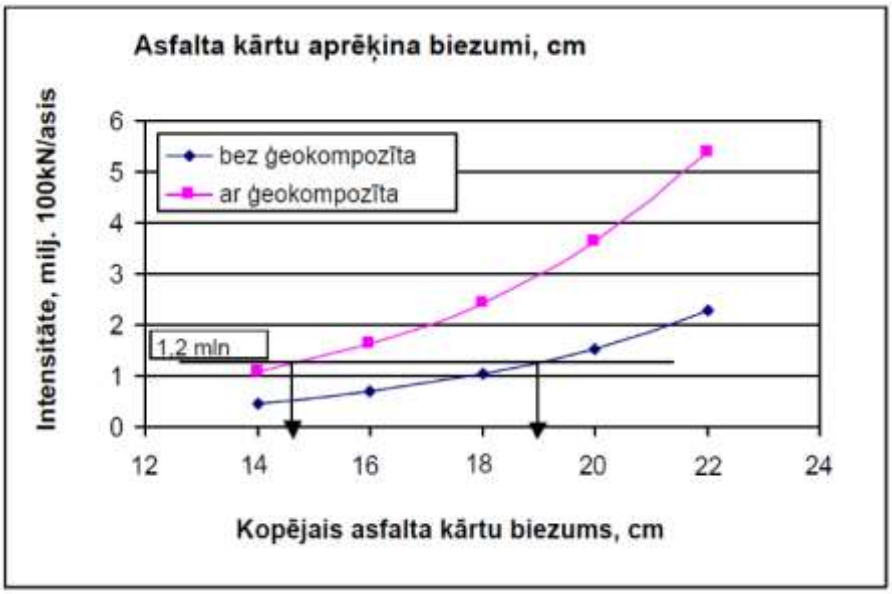
- Esošā asfalta kārtu biezums - 12 cm
- Esošais šķembu kārtu biezums - 8 cm
- Esošais smilts slānis - 5 cm
- Zemes klātne CBR=3,5%

3-7.5. Projekta aprēķinos izmantotie dati par satiksmes intensitāti un esošo segas konstrukciju [48]

3-7.5. attēlā norādīti projekta aprēķinos izmantotie dati:

- Aprēķina periods – 10 gadi;
- Satiksmes intensitāte – 322 asis (100kN) uz joslu, 322 asis x 10 x 365 = 1.17 milj. 100 kN asu pārbraucieni aprēķina periodā;
- Zemes klātne – smilšmāls, nestspēja CBR = 3.5%, E= 35 MPa;
- Aprēķina slodze – 100 kN/ ass;
- Esošā asfalta kārtu kopējais biezums – 12 cm;
- Esošais šķembu kārtu biezums – 8 cm;
- Esošais smilts slānis – 5 cm;

3-7.6. attēlā redzams, kā tiek noteikts izbūvējamā asfalta kārtu kopējais biezums ar un bez ģeosintētisko materiālu pielietojuma.



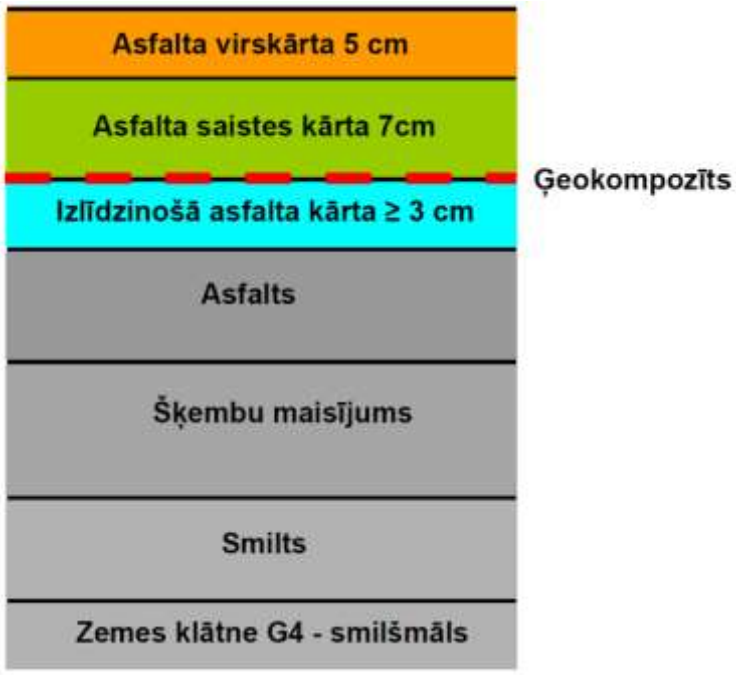
3-7.6. attēls. Izbūvējamā asfalta kārtu kopējā biezuma noteikšana [48]

Pēc projekta izmantotajiem datiem redzams:

- Izbūvējamo asfalta kārtu biezums bez ģeosintētisko materiālu izmantošanas ir 19cm pie aprēķina intensitātes 1.17 milj. 100 kN asis (NAS);
- Izbūvējamo asfalta kārtu biezums ar ģeosintētisko materiālu izmantošanu ir 15cm pie aprēķina intensitātes 1.17 milj. 100 kN asis (NAS);

3-7.7. attēlā norādīts pieņemtais risinājums:

- Asfalta virskārta 5 cm;
- Asfalta saistes kārta 7 cm;
- Augsta profila monolīts divasu ģerežģis rūpnieciski savienots ar ģeotekstilu (ģeokompozīts) (atvēruma izmērs 65x65 mm);
- Izlīdzinošā asfalta kārta 3 cm;
- Esošā asfalta segas konstrukcija.



3-7.7. attēls. Pieņemtais risinājums [48]

3-7.8. attēlā redzams brauktuves stāvoklis 2018. gadā. Attēlā redzams, ka pēc 15 gadu ekspluatācijas nav novērojamas atstarojošās vai noguruma plaisas. Vizuāli ceļa brauktuves seguma stāvoklis novērtējams kā labs.

3-7.8. attēls. Brauktuves stāvoklis 2018. gadā [48]

3.7.2. Valsts autoceļš Nr. S3/A6 (Polija)

Projekts ir realizēts 2018. gadā Polijā. Projekta realizācijā izmantots monolīts augsta profila polipropilēna ģeorežģis rūpnieciski savienots ar neaustu ģeotekstilu.

3-7.9. Attēls. Augsta profila monolīts divasu ģeorežģis rūpnieciski savienots ar ģeotekstilu (atvēruma izmērs 65x65mm) [48]

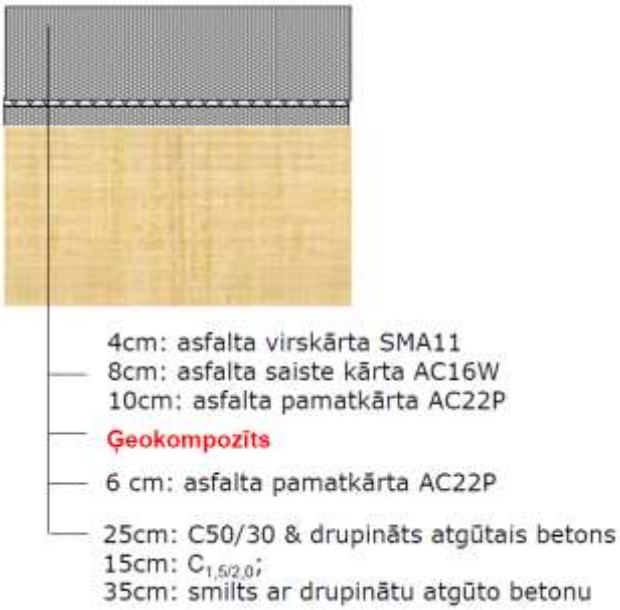
Projekta nosaukums	Valsts autoceļš S3 / A6 Kijewo - Dąbie - Rzęśnica pārbūve
Projekta mērķis	**Asfalta kārtu pastiprināšana**
Materiāls	Polipropilēna ģeokompozīts
Izbūves apjoms	32.000 m²
Piegādātājs	Czerwiec/Lipiec 2018
Būvdarbu veicējs	Energopol Szczecin S.A.
Pasūtītājs	GDDKiA O/ Szczecin

3-7.10. Projekta dati [48]

Posma garums ir km 86+700 – 87 + 480 un km 88+800 – 89+570, kopā veidojot aptuveni 1.5 km. Nepieciešams sasniegt apmierinošus ar cementu saistītas minerālmateriālu kārtas 15 cm RC28 nestspējas rādītājus. Nepieciešams rast risinājumu, lai iegūtu projektā prasīto ceļa segas konstrukcijas nestspēju, nemainot esošo segas konstrukciju kārtas un to biezumus. Kā piedāvātais risinājums ir zem izbūvējamā asfalta kopējā kārtu biezuma 28 cm paredzēt iebūvēt ģeokompozītu.

3-7.11. attēlā norādīta piedāvātā segas konstrukcija:

- Asfalta virskārta 4 cm;
- Asfalta saistes kārta 8 cm;
- Asfalta pamata kārta 10 cm;
- Ģeokompozīts;
- Asfalta pamata kārta 6 cm;
- Šķembu maisījums + drupināts atgūtais betons.

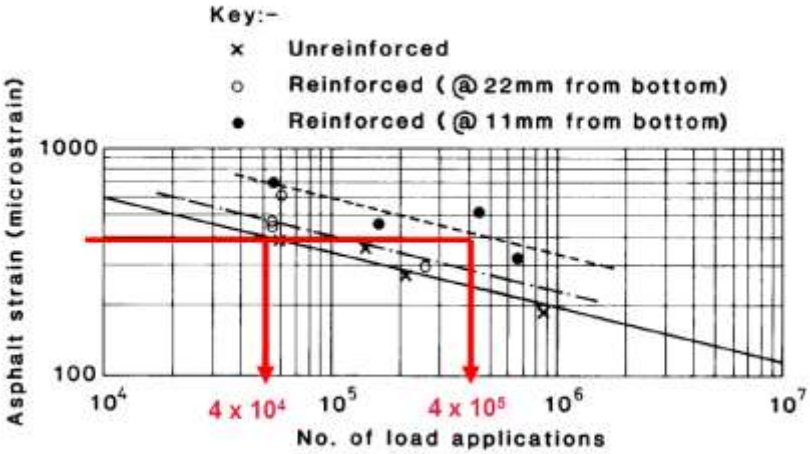


3-7.11. attēls. Piedāvātais segas konstrukcijas risinājums [48]

3-7.12. attēlā pieņemtais risinājums, segas konstrukcijas kalpošanas perioda noteikšanai:

- Aprēķina satiksmes intensitāte ir 52 milj. 100 kN asis (NAS) uz joslu;
- Segas konstrukcija bez ģeokompozīta izmantošanas atbilst satiksmes intensitātei 38 milj. 10 kN asis (NAS) uz joslu;
- Segas konstrukcija ar ģeokompozīta izmantošanu nodrošina satiksmes intensitāti 58 milj. 10 kN asis (NAS) uz joslu;
- Ģeokompozīta izmantošana 1.5 reizes palielina satiksmes intensitātes pārbraucienu skaitu.

- No grafika var secināt, jo zemāk pret brauktuves seguma virsmu ir novietots ģeosintētiskais materiāls, jo efektīvāka ir tā ietekme, palēninās noguruma plaisu veidošanos.



3-7.12. Ģeokompozīta ievērtēšana segas konstrukcijas kalpošanas perioda noteikšanai [48]

3-7.13. Ģeokompozīta iebūves process 2018. gadā [48]

3.7.3. Autoceļi Stacijas ceļš / A41 Bakingemšīra (Lielbritānija)

Projekts ir realizēts 2020. un 2021. gadā Lielbritānijā. Projektā realizācijā izmantots trīsasu augsta profila polipropilēna ģeorežģis rūpnieciski savienots ar neaustu ģeotekstilu.

3-7.14. Augsta profila monolīts trīsasu ģeorežģis rūpnieciski savienots ar ģeotekstilu (sešstūra atvēruma izmērs 80 mm) [48]

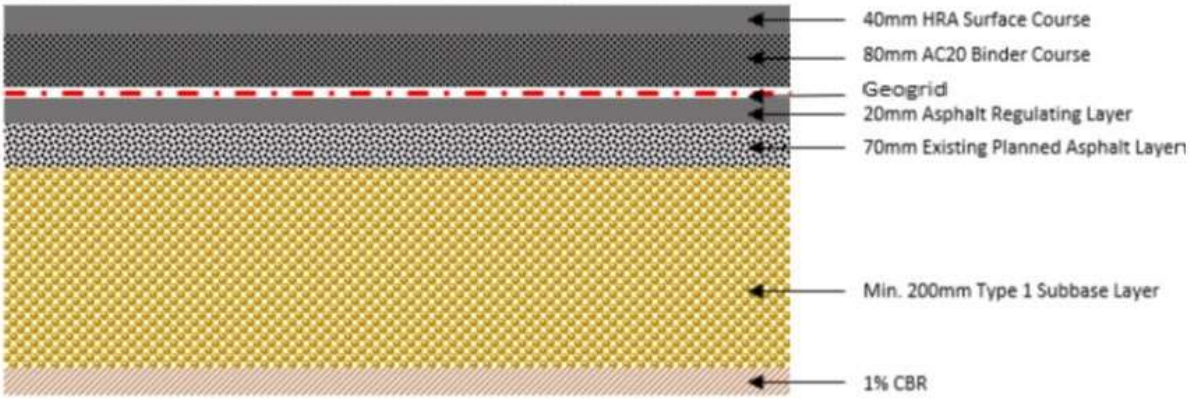
3-7.15. attēlā dots esošās situācijas apraksts, seguma atjaunošana pamatota ar nākamo 5 gadu laikā paredzēto satiksmes intensitātes pieaugumu. Plānotā satiksmes intensitāte plānota: 2.4 milj. NAS (normētās ass slodzes pārbraucieni). Plānotais izbūves apjoms ir 1.5km. Pieņemts, ka ģeokompozīta izmantošana 2.0 reizes palielina aprēķina normētās ass slodzes pārbraucienu skaitu.

- Station Road/A41 Buckinghamshire, one of the main construction route for *HS2 Project*
- **UK** (2020-2021)
- Supervised by Tensar UK, Tony Roe
- ~10k sqm of AX5-GN installed (~1.5km length x 5.6 m width)
- The idea of using:
  - The pavement requires some upgrading to take the increased traffic predicted over the next 5 years.
  - The design traffic has been assessed for 2.4 mln ESALS.
  - Proposed solution was based on the use of AX5-GN which provides the higher performance of the asphalt overlay.
  - The shift factor of 2 has been taken into account for this specific case

3-7.15. attēls. Pieejamie dati par projektu [48]

3-7.16. attēlā norādīts pieņemtais risinājums:

- Asfalta virskārta 4cm;
- Asfalta saistes kārta 8cm;
- Augsta profila monolīts trīsasu ģeorežģis rūpnieciski savienots ar ģeotekstilu (ģeokompozīts) (sešstūra atvēruma izmērs 80mm);
- Izlīdzinošā asfalta kārta 2cm;
- Esošā asfalta segas konstrukcija.



3-7.16. Pieņemtā segas konstrukcija [48]

3-7.17. Esošā situācija pirms seguma atjaunošanas [48]

3-7.18. Seguma atjaunošanas izbūves process [48]

3-7.19. Seguma atjaunošanas izbūves process [48]

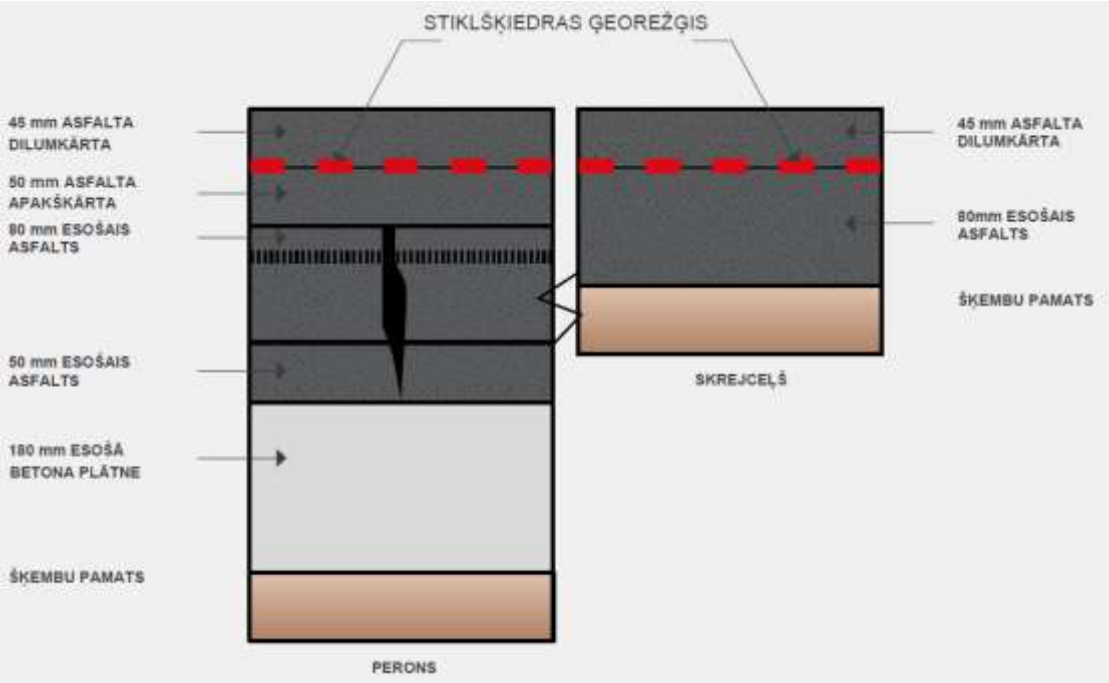
<u>Secinājumi:</u>

- Ir pierādīts, ka kompozītmateriāli, kuru pamatā ir monolīts režģis – divasu vai trīsasu formas palielina seguma / asfalta seguma kalpošanas periodu;
- Lielisks asfalta starpkārtu sniegums tika pierādīts plašos pētījumu projektos un objektos dabā;
- Ir efektīva un pārbaudīta aprēķina metode, kuras pamatā ir M-E projektēšanas metode, kas ļauj ievērtēt ģeokompozītus;
- Lai palielinātu kalpošanas laiku, tiek nodrošinātas visas 3 funkcijas nodrošinātas ģeokompozīta veidā, t.i., stiegrojums (=R), atspriegošana (=STR) un (starpslāņu) barjera (=B) saskaņā ar Eiropas standartu EN 15381;

- Liela nozīme ir uzstādīšanas procesam (līmēšanas / saistes pārklājums, ģeokompozīta iebūves un izlīdzināšanas process, līdzenuma nodrošināšana - grumbu neveidošanās, asfalta pirmās kārtas minimālā biezuma ievērošana utt.);
- Ģeokompozītus var klasificēt kā reciklējamus un atkārtoti izmantojamus materiālus. Frēzējot vai samaisot asfalta materiālu ar frēzētiem PP materiāliem, nav konstatēta negatīva ietekme.

3.7.4. Centralia lidosta (Kanāda)

Šīs lidostas centrālajam peronam bija kompozīts segums, kas cieta no betona atstarojošas plaisāšanas un dilumkārtas novecošanas. Perons tika pārklāts ar izlīdzinošo kārtu, stiklašķiedras asfalta ģeorežģi un dilumkārtu 1993. gadā. Pēc 19 gadu ekspluatācijas joprojām virsmas segumā nav redzamas plaisas.



3-7.20. Projekta šķērsgriezums [61]

3-7.21. Situācija 1992. gadā [61]

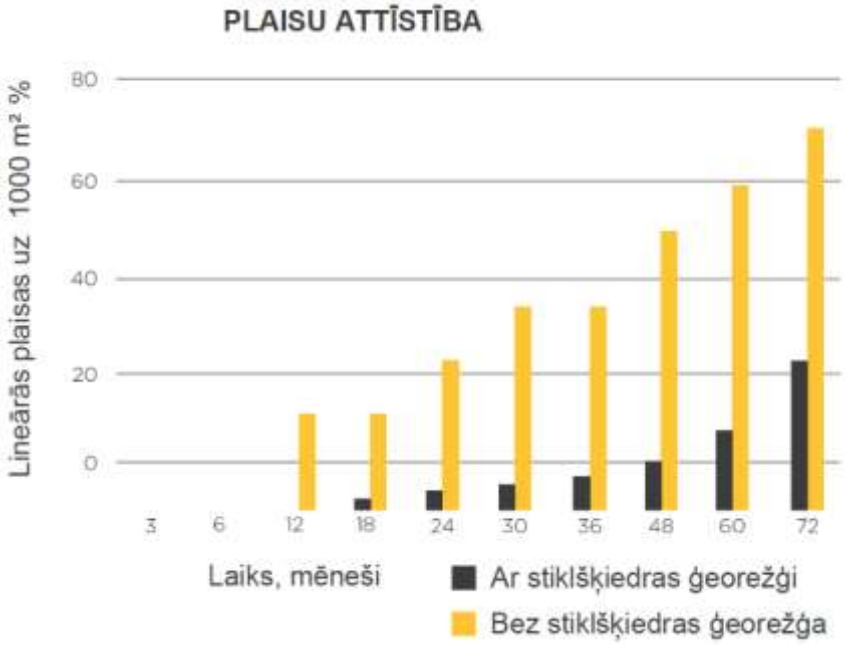
3-7.22. Situācija 2012. gadā [61]

3-7.23. Situācija 2018. gadā [61]

3.7.5. 96. maģistrāle, ASV

Šī maģistrāle ir viena no galvenajām Interstate 10 artērijām un savieno Bomontu Teksasā ar vairākām mazākām pilsētām. Uz ceļa ir intensīva satiksme ar komerciālajiem transportlīdzekļiem un smagajām kravas automašīnām. 1993. gadā tika reģistrēta gada vidējā diennakts satiksmes intensitāte 20 600 transportlīdzekļi/diennaktī.

Lai samazinātu termiskās un noguruma radītās atstarojošās plaisas, Teksasas Transporta departaments apstiprināja stiklšķiedras režģa uzstādīšanu visā vienas jūdzes posmā pilnā platumā plaisāšanas visvairāk skartajā zonā. Tika izbūvēts stiklšķiedras režģis uz izlīdzinošās kārtas un pārklāts ar 40 mm asfalta dilumkārtu. Katra izmēģinājuma posma beigās tika izbūvēti atskaites posmi bez pastiprināšanas. Izbūvētais posms tika novērots sešus gadus, rezultāti parādīti 3-7.24. attēlā.

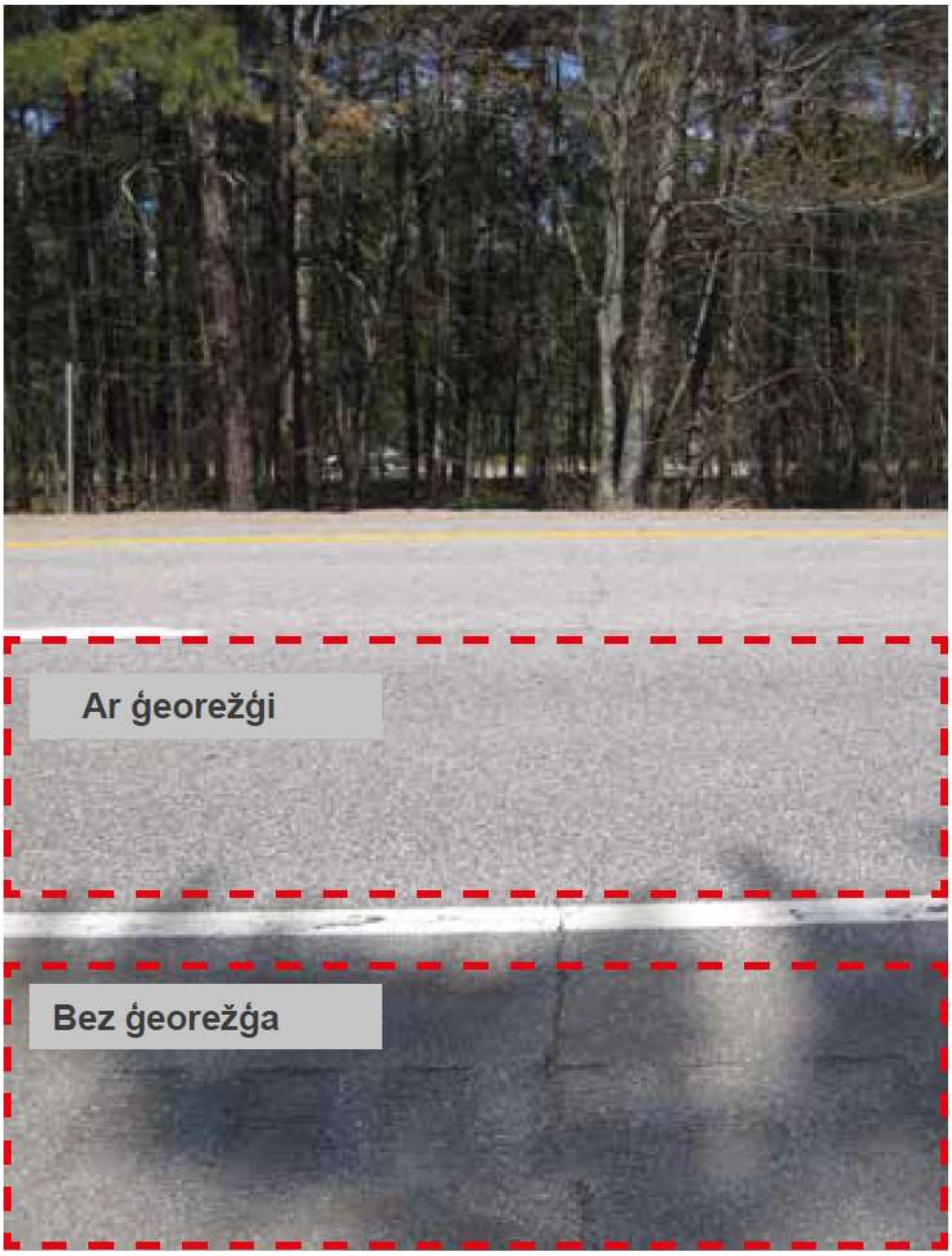


3-7.24. Plaisu attīstība [61]

3.7.6. I-93. maģistrāle, ASV

Atjaunošana tika veikta 2006. gadā, kad tika izbūvēts stiklšķiedras ģeorežģis uz 25 mm biezas izlīdzinošās kārtas, un pārklāts ar 40 mm asfaltbetona dilumkārtu uz maģistrāles lēnās (labās) joslas.

3-7.25. Esošā situācija 2015. gadā [61]



3-7.26. attēls. Skats no kreisās puses apstāšanās joslas ar plaisām, kreisā (lēnā) josla pastiprināta ar ģeorežģi bez plaisām, labā (ātrā) josla ar plaisām 2014. gadā [61]

3-7.27. attēls. Braukšanas virzienā labā josla pastiprināta ar ģeorežģi bez plaisām, kreisā josla ar plaisām, 2014. gadā [61]

3.7.7. A38 Bristoles ceļš (Lielbritānija)

Esošais intensīvi noslogotais asfalts ceļš bija stipri saplaisājis. Pasūtītājs vēlējās samazināt satiksmes ierobežojumus līdz minimumam, tāpēc bija nepieciešams dziļas frēzēšanas un seguma atjaunošanas risinājums, nevis pilna dziļuma segas pārbūve. Tas ļautu slēgt tikai vienu satiksmes joslu, nofrēzējot posmu un pēc tam atjaunojot segumu katru dienu līdz saistes kārtas līmenim, lai katru dienu savlaicīgi to atkal atvērtu sastrēgumstundas periodam.

Esošais asfalts tika nofrēzēts 150-200 mm biezumā. Uz nofrēzētās virsmas tika izsmidzināts bitumens ar penetrācijas klasi 200, un stiklšķiedras kompozītmateriāla asfalta starpkārta tika izbūvēta. Tad tika ieklāta asfalta saistes kārta. Satiksme tika pārvirzīta uz izbūvēto joslu un tika atkārtotas ģeokompozīta izbūve blakus joslā, pirms tika izbūvēta dilumkārta iepriekšējā ceļa seguma līmenī.

3-7.28. attēls. Plaisas asfaltā pirms atjaunošanas [61]

3-7.29. attēls. Atjaunotais segums pēc 8 gadu ekspluatācijas [61]

3.7.8. A41114 Abingdonas ceļš (Lielbritānija)

Tērauda sieta lietošanas piemērs ir A41114 Abingdonas ceļa pastiprināšana. Abingdonas ceļš ir galvenais maģistrālais ceļš, pa kuru intensīvi pārvietojas līdz 20 000 transportlīdzekļiem diennaktī (automašīnas, autobusi, kravas automašīnas), dodoties no Oksfordas pilsētas centra uz dienvidu apvedceļu. Ir bijusi nepieciešama regulāra sliktāko zonu uzturēšana, taču vairumā gadījumu ieguvums ir bijis īslaicīgs. Tāpēc beidzot Oksfordšīras grāfistes dome nolēma veikt būtisku rekonstrukciju ievērojamā garumā no ceļa. Tika pieņemts lēmums darbu uzsākšanai 2003. gadā. Pilna seguma rekonstrukcija tika noteikta par nepieciešamu, bet inženiertīklu atrašanās seklā dziļumā un Normena Kozveja piemineklis ierobežoja rekonstrukcijas dziļumu līdz 450mm. Esošo zemas stiprības pamatni nevarēja uzlabot ar tās nomaiņu. Tāpēc tika izstrādāts risinājums, kas ietvēra tērauda sieta izmantošanu, lai nodrošinātu vismaz 15 gadu kalpošanas periodu. Tērauda siets tika ievietots zemu bituminētajos slāņos, lai sniegtu maksimālu strukturālu ieguvumu. Izvēlētā zona bija no “Step Ground” tilta līdz Norrejas avēnijai. Gandrīz 2km brauktuves tika rekonstruēti pa posmiem 3 gadus pēc kārtas. Visas fāzes tika pabeigtas laikā un budžeta ietvaros, sasniedzot augstu būvniecības kvalitāti, ar nelieliem satiksmes dalībnieku un apkaimes iedzīvotāju traucējumiem.

3-7.30. attēls Noguruma plaisas Abingdonas ceļā pirms rekonstrukcijas (pa kreisi) un Abingdonas ceļš 2016. gadā (pa labi) [60]

3.7.9. Diksonas ceļš (Lielbritānija)

Ceļa vidus 5 m platumā sastāvēja no betona plātnēm ar tramvaja sliedēm, kas bija aptuveni 50 mm zem seguma. Atlikušais brauktuves platums bija asfaltēts uz smilšakmens bruģakmeņiem. Mainīgā pamatne izraisīja dažādas deformācijas un atstarojošās plaisas asfalta segumā.

Viss esošais asfalts tika nofrēzēts līdz 50 mm dziļumam. Stiklašķiedras ģeokompozīta asfalta starpkārta tika izbūvēta uz 25 mm izlīdzinošās kārtas. Uz ģeokompozīta tika izbūvēta 14 mm SMA asfalta dilumkārta.

3-7.31. attēls. Atjaunotais segums pēc 8 gadu ekspluatācijas [61]

3.7.10. 18. novembra iela Daugavpilī (Latvija)

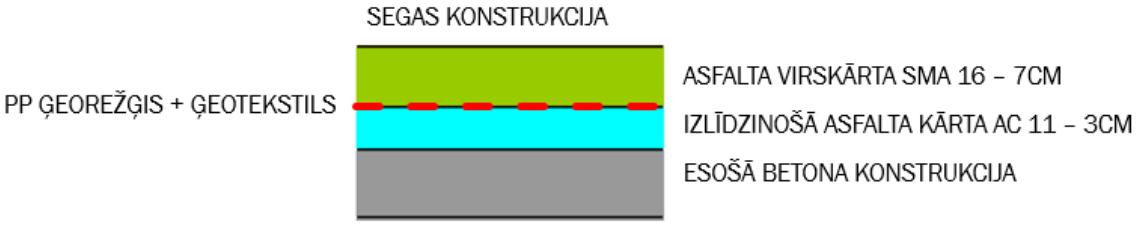
Projekts ir realizēts 2013 - 2014. gadā Daugavpilī. Projekta realizācijā izmantots monolīts augsta profila polipropilēna ģeorežģis rūpnieciski savienots ar neaustu ģeotekstilu.

3-7.32. attēls. Augsta profila monolīts divasu ģeorežģis rūpnieciski savienots ar ģeotekstilu (atvēruma izmērs 65x65mm).

3-7.1. tabula. Projekta dati

Projekta nosaukums:	Tranzīta ielas A13 (18. novembra iela no pilsētas robežas līdz Daugavas ielai) rekonstrukcija Daugavpilī
Projekta satiksmes intensitāte	AADT=16329 A/24H $AADT_{kravas}$=786/24H, īpatsvars 5%
Ģeokompozīta pielietošanas mērķis:	Izbūvēt asfalta segumu virs esošā betona seguma
Ģeokompozīta izbūves posma garums:	820 m
Materiāls:	Polipropilēna ģeokompozīts
Izbūvējamais apjoms:	6553 m^2
Būvdarbu veicējs:	Ceļu būves firma SIA Binders
Pasūtītājs:	Daugavpils pilsētas dome

3-7.33. attēls. Esošā situācijas pirms būvdarbu uzsākšanas 2011. gads [62]



3-7.34. attēls. Projekta segas konstrukcija

3-7.35. attēls. Izbūvēta asfalta virskārta 2014. gads [62]

3-7.36. attēls. Esošā situācija 2019. gads, ekspluatācijā 5 gadi [62]

Kā redzams 3-7.36. attēlā, tad pēc 5 gadu ekspluatācijas nav novērojama atstarojošo un noguruma plaisu veidošanās.

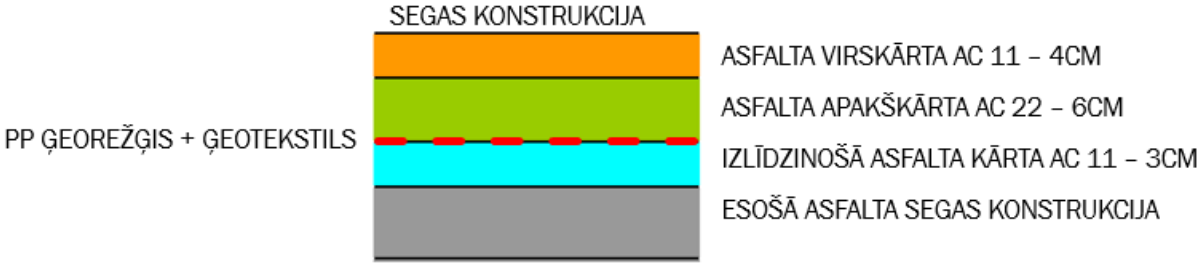
3.7.11. Rīgas iela Alūksnē (Latvija)

Projekts ir realizēts 2017. gadā Alūksnē. Projekta realizācijā izmantots monolīts augsta profila polipropilēna ģeorežģis rūpnieciski savienots ar neaustu ģeotekstilu.

3-7.37. attēls. Augsta profila monolīts divasu ģeorežģis rūpnieciski savienots ar ģeotekstilu (atvēruma izmērs 65x65mm).

3-7.2. Projekta dati

Projekta nosaukums:	Rīgas ielas pārbūve Alūksnē, Alūksnes novadā
Projekta satiksmes intensitāte	AADT=2274 A/24H $AADT_{kravas}$=364/24H, īpatsvars 16%
Ģeokompozīta pielietošanas mērķis:	Esošā asfalta seguma pastiprināšana
Ģeokompozīta izbūves posma garums:	646 m
Materiāls:	Polipropilēna ģeokompozīts
Izbūvējamais apjoms:	4820 m^2
Būvdarbu veicējs:	SIA 8CBR
Pasūtītājs:	Alūksnes novada pašvaldība



3-7.38. attēls. Projekta segas konstrukcija

3-7.39. attēls. Esošā situācija 2011. gads [62]

3-7.40. attēls. Esošā situācija 2019. gads, ekspluatācijā 2 gadi [62]

3-7.40. attēlā izbūvētais posms pēc 2 gadu ekspluatācijas. Arī šobrīd 2021. gada oktobrī pēc vairāk nekā 4 gadu ekspluatācijas nav novērojama atstarojošo un noguruma plaisu veidošanās.

3.8. Secinājumi

1) Seguma starpkārtu izmantošana ar saistvielām saistīto kārtu atjaunošanā atbilstošos apstākļos var ievērojami samazināt būvdarbu izmaksas, būvdarbu veikšanas laiku un apjomu, ceļa uzturēšanas izdevumus un paildzināt seguma kalpošanas laiku;

2) Seguma starpkārtu izmantošanai jāveic objekta bojājumu novērtējums, lai identificētu problēmas, kuru novēršana ar seguma starpkārtu ir ierobežota, piemēram, segas pamata nestspējas zudums, traucēta ūdens novade no ceļa seguma, augsts gruntsūdens līmenis u.c.;

3) Šobrīd nav izstrādātas analītiskas metodes seguma starpkārtu ietekmes uz nestspēju aprēķināšanai, projektēšanā ieguvums no starpkārtas izmantošanas tiek ievērtēts ar novērojumos dabā vai testos laboratorijā noteiktiem nestspējas pieauguma koeficientiem;

4) Šobrīd nav iespējams viennozīmīgi apgalvot, vai segumu pastiprināšanai piemērotāki ir zema profila materiāli ar zemu stiepes pagarinājumu un augstu

stiepes stiprību, vai augsta profila materiāli ar lielāku stiepes pagarinājumu un zemāku stiepes stiprību. Kā liecina pētījumi, ieguvums ir no abu veidu izstrādājumiem;

5) Kā rāda pētījumi, tad liela nozīme ir ne tikai ģeosintētisko izstrādājumu mehāniskajām īpašībām, bet arī to ģeometriskai formai;

6) Atkarībā no seguma bojājumu veida iespējams izmantot izstrādājumus ar stiegrojuma funkciju (R), atspriegošanas un (starpslāņu) barjeras funkcijām (STR+B), vai ar stiegrojuma, atspriegošanas un (starpslāņu) barjeras funkcijām (R+STR+B). Faktiski objektos bojājumi visbiežāk ir to dažādu veidu kombinācijas, kuru novēršanai nepietiek tikai ar stiegrojuma funkciju (R) vai atspriegošanas un (starpslāņu) barjeras funkcijām (STR+B), līdz ar to segumu pastiprināšanai rekomendējams izmantot izstrādājumus ar visām trīs funkcijām (R+STR+B), kas apvieno arī pirmo divu veidu ģeosintētisko izstrādājumu funkcijas;

7) Tērauda sietu izmantošana segumu pastiprināšanā nav rekomendējama, jo neskatoties uz pētījumos un praktiskos piemēros iegūtajiem pierādījumiem par to darbības efektivitāti, trūkst datu par šo sistēmu demontāžu (frēzēšana var būt problemātiska) un atkārtotas pārstrādes iespējām (sarežģīta sietu atdalīšana no saistītā seguma).

4. Reciklēšana

4.1. Vispārīgi

Atbilstoši „Ceļu specifikācijas 2019" (turpmāk tekstā – CS2019) aukstā pārstrāde (turpmāk tekstā – reciklēšana) ir tehnoloģija ceļa segas pārbūvei vai būvniecībai aukstā veidā [33]. Šo Vadlīniju tvērumā tiks apskatīta reciklēšanas tehnoloģija, kas paredz tikai ceļa būves atjaunošanu (normatīvo regulējumu detalizēti skatīt nodaļā 5.1).

Segas pastiprināšana ar reciklēšanas metodi apskatīta seguma defektu un nelielu, nestspēju būtiski neietekmējošu strukturālu bojājumu gadījumiem. Aprakstītā reciklēšanas tehnoloģija paredzēta, lai, izveidojot saistīta materiāla pamata kārtu, atjaunotu un uzlabotu segas esošo nestspēju. Tā nav lietojama segas pārbūvei gadījumos, kad fiksēti būtiski segas strukturāli bojājumi (pielietojuma robežas skat. att. zemāk).

4-1.1. attēls. Seguma bojājumu dziļums nepārsniedz ~20 cm, segumam nav būtisku strukturālu bojājumu. Iespējama segas pastiprināšana [34]

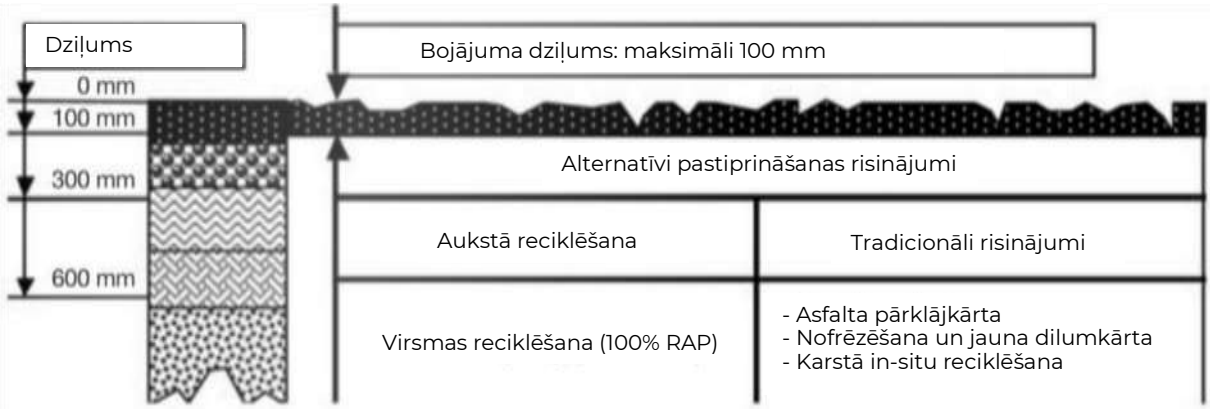
4-1.2. attēls. Seguma bojājumu dziļums pārsniedz ~20 cm, ir fiksēti būtiski strukturāli bojājumi un deformācijas. Nepieciešama pārbūve [34]

4.2. Ierobežojumi

Vadošais in-situ reciklēšanas iekārtu ražotājs GbmH „Wirtgen" atbilstoši valdošajai būvniecības praksei seguma pastiprināšanu, reciklējot vienā piegājienā, rekomendē, ja esošās segas bojājumu dziļums nepārsniedz 30 cm. Pie bojājumu dziļuma 30-60 cm iespējama dziļā reciklēšana vairākos gājienos [35]. Šādi dziļās reciklēšanas darbi veicami ceļa pārbūves ietvaros, tādēļ šajās Vadlīnijās netiek izskatīti.

Šo Vadlīniju ietvarā atbilstoši ICP.CS „Pastiprināšana" segas pastiprināšana reciklējot pielietojama segumiem, kur bojājumi (piem., iesēdumu, izdrupumu, lūzumu, noslīdējumu) ir seklāki – līdz 20 cm. Ja segas bojājumi ir dziļāki par 20 cm un garāki par 50 m, veicama ceļa segas pārbūve [37].

Atbilstoši GbmH „Wirtgen" rekomendācijām maz un vidēji noslogotiem ceļiem pie neliela bojājumu apjoma un dziļuma (līdz 10 cm) reciklētā maisījuma kārtu ar sekojošu virsmas apstrādi var izmantot kā alternatīvu tradicionālām karstā asfalta pārklājkārtām vai karstā remiksa tehnoloģijai. Šajā gadījumā kā pildvielu iespējams izmantot pat 100% atgūtu karstā asfalta materiālu (skat. att. zemāk).

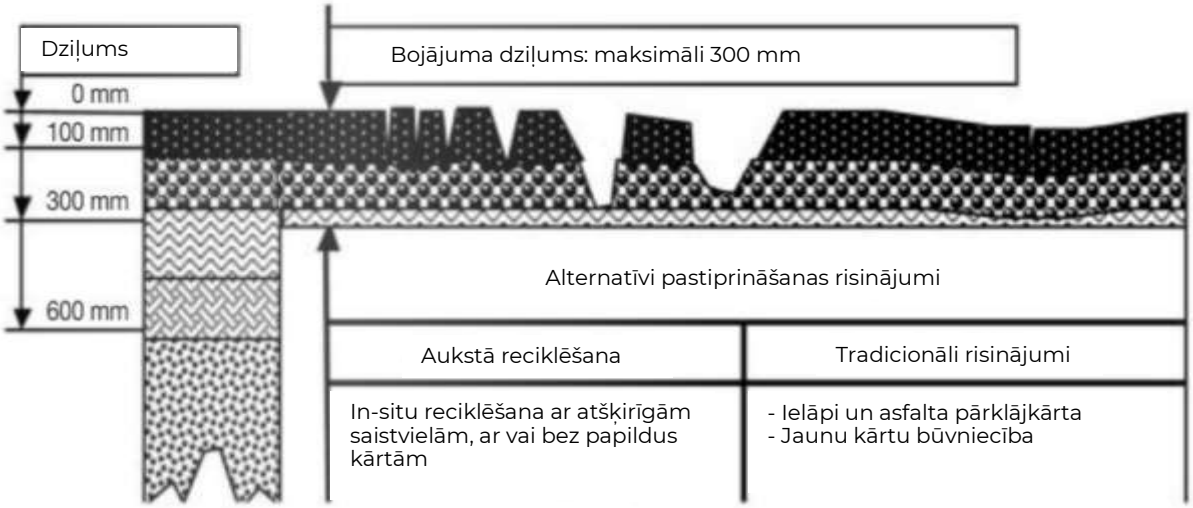


4-2.1. GbmH Wirtgen rekomendētā reciklēšanas principiālā tehnoloģija, ja bojājumu dziļums nepārsniedz 10 cm [35]

Bojājumu dziļumam pieaugot (līdz 30 cm dziļumam), nepieciešami papildus pasākumi – jauns minerālais materiāls, stabilizējošas saistvielas, karstā asfalta pārklājkārtas (skat. att. zemāk). Šajā gadījumā reciklētā maisījuma kārta faktiski ir alternatīva jauna minerālā materiāla pamatam.

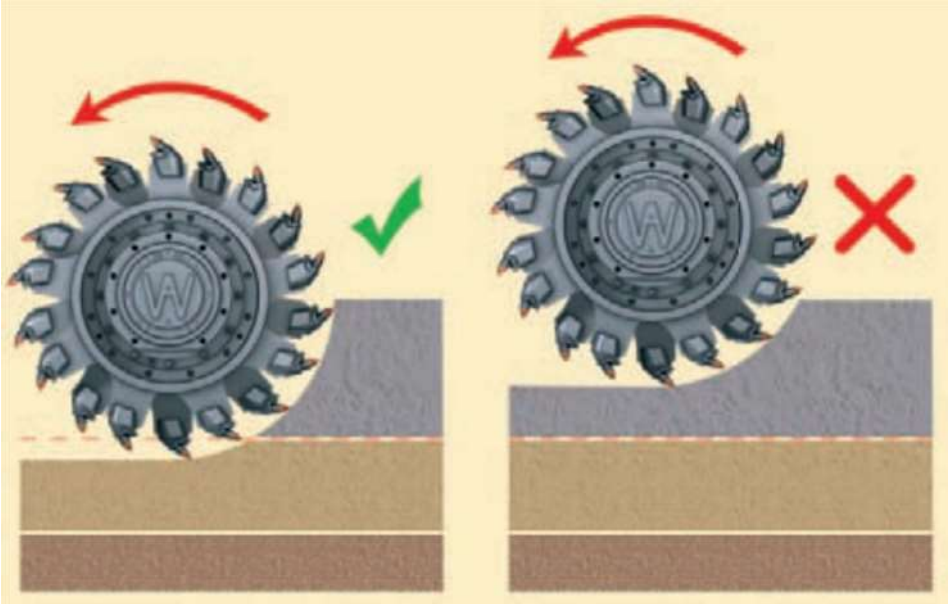
Lai izslēgtu reciklētā asfaltbetona kārtas kūkumošanu mitruma ietekmē, šajās Vadlīnijās rekomendēta reciklēšana tikai ar saistvielas pievienošanu.

Rekomendēts frēzētā asfaltbetona materiāla (turpmāk tekstā – RA) daudzumu maisījumā ierobežot līdz 50 % no kopējās maisījuma masas. Argumentētu izņēmumu gadījumā (pie augstas esošā bitumena penetrācijas >20*0,1 mm) – līdz 70%.



4-2.2. attēls. GbmH Wirtgen rekomendētā reciklēšanas principiālā tehnoloģija, ja bojājumu dziļums nepārsniedz 30 cm [35]

Neatkarīgi no bojājumu dziļuma – tehnoloģiski pareizi reciklējot, esošais asfaltbetona segums jānofrēzē pilnā biezumā (skat. att. zemāk). Tādēļ reciklētās kārtas biezumu būtiski ietekmē esošā seguma biezums.



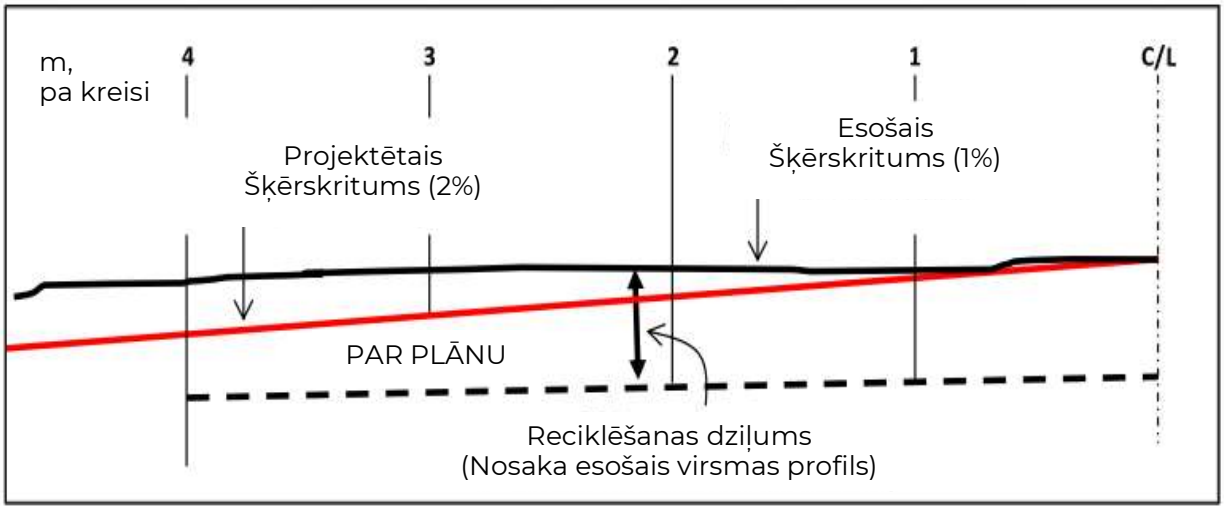
4-2.3. attēls. Pareizs (pa kreisi) un nepareizs (pa labi) seguma nofrēzēšanas dziļums [34]

Šis apstāklis nosaka divus būvuzņēmēju minētos galvenos reciklēšanas tehnoloģiskos ierobežojumus.

*Būvuzņēmēju viedoklis:

- Reciklēšana nav piemērota autoceļiem ar neatbilstošiem (deformētiem) garenprofiliem un/vai šķērsprofiliem (skat. att. zemāk);
- Reciklēšanu nerekomendē ceļiem ar nepietiekamu esošā (vecā) a/b seguma biezumu, lai veiktu izlīdzinošo frēzēšanu.

Zemāk dots piemērs, kur neatbilstoša (<1%) esošā šķērskrituma dēļ brauktuves malās esošais segums ir par plānu, lai efektīvi veiktu izlīdzinošo reciklēšanu.



4-2.4. attēls. Neatbilstoša šķērsprofila sekas – brauktuves malā esošā seguma biezums ir par mazu [39]

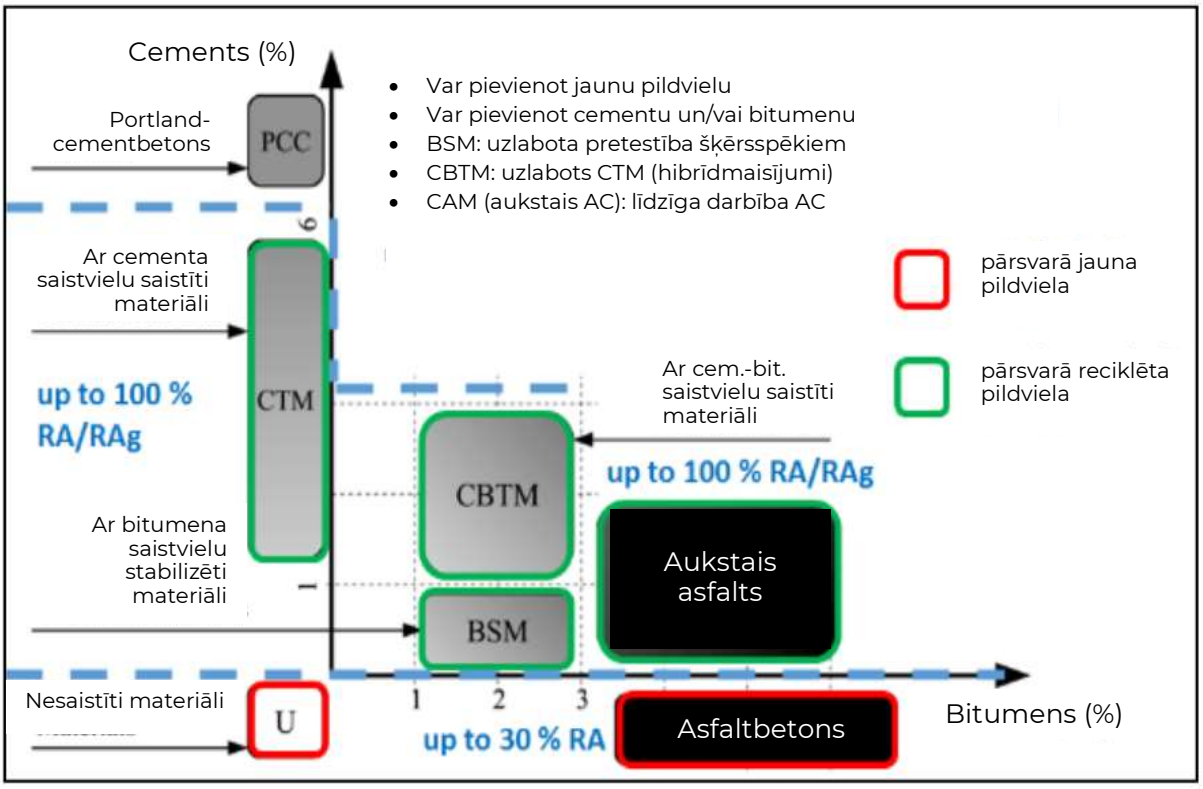
4.3. Reciklēšanas veidi

Reciklēšanu var veikt uz vietas būvobjektā vai rūpnīcā. To var veikt ar papildus jauna minerālmateriālu materiāla pievešanu vai bez tās. Segas pamata pastiprināšanas gadījumā obligāta ir saistvielas pievienošana.

Atkarībā no pievienojamās saistvielas (cementa un/vai bitumena), reciklētos materiālus var sagrupēt 3 lielās kategorijās [40] (skat. att. zemāk):

- Ar cementa saistvielu stabilizēti maisījumi (turpmāk tekstā – CTM). Bitumenu neizmanto, strukturālo kohēziju panāk tikai ar cementu. Parasti pievienotais cementa apjoms – 1-6% (no masas);

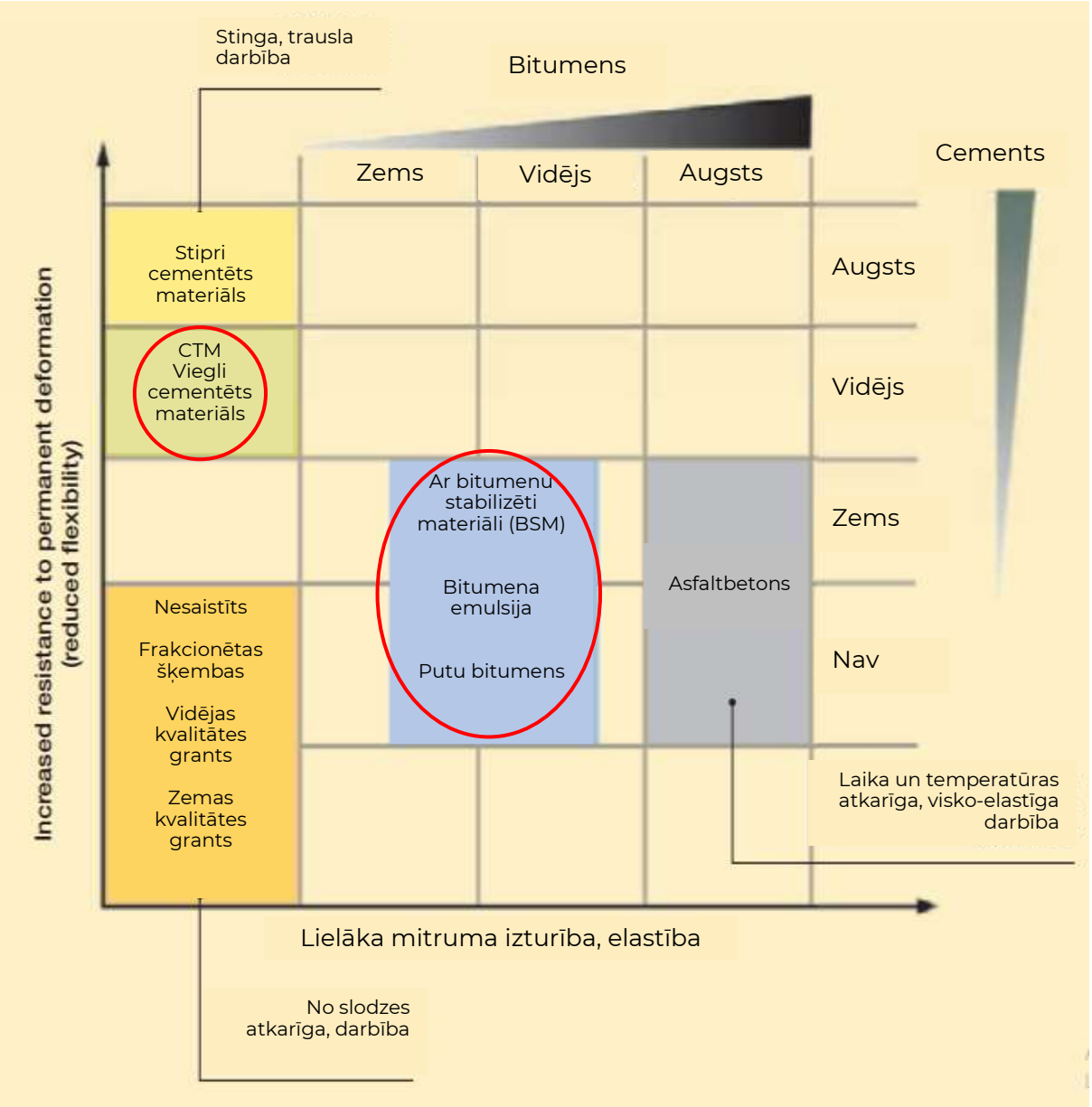
- Ar cementa-bitumena saistvielu stabilizēti maisījumi (turpmāk tekstā – CBTM). Uzlabota CTM versija. Lai maisījumu padarītu elastīgāku, papildus pievieno 1-3% bitumena saistvielas. Pievienotā cementa apjomu samazina līdz 1-3%;
- Ar bitumena saistvielām saistīti maisījumi (turpmāk tekstā – BSM). Tajos nesaistīto minerālo pildvielu stabilizē ar nelielu apjomu bitumena (~1-3%) un cementa (līdz 1-1,5%).



4-3.1. attēls. Seguma materiāli atkarībā no pievienotās saistvielas [40]

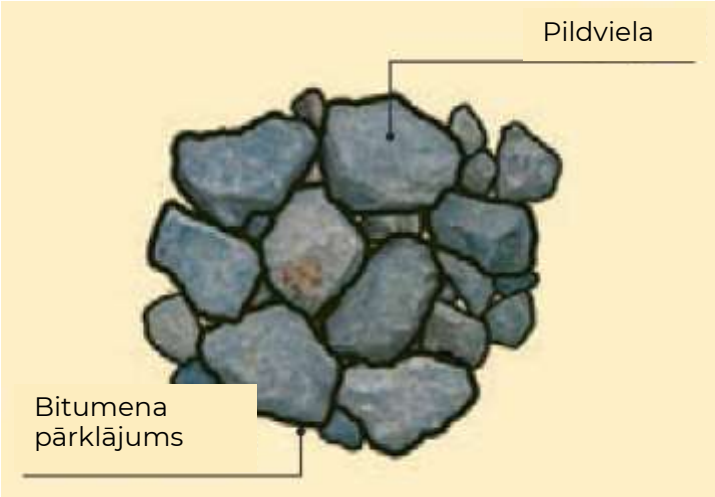
Ar cementa saistvielu stabilizēti maisījumi (turpmāk tekstā – CTM) principiāli atšķiras no ar bitumena saistvielām (turpmāk tekstā – BSM) saistītiem maisījumiem. CTM darbojas līdzīgi asfaltbetona segumam, un, salīdzinot ar BSM, ir relatīvi trausli. Šādi reciklēti maisījumi (līdzīgi kā asfaltbetons) sabrūk no stiepes spēkiem kārtas apakšā. Dominējošais bojājumu veids – plaisas, kas izplatās no apakšas uz augšu.

CTM maisījumu uzlabojot ar bitumena saistvielu, tiek iegūts CBTM maisījums, kas ir noturīgāks pret mitruma iedarbību un mazāk trausls (skat. att. zemāk). Pašlaik tieši CBTM maisījumus uzskatīta par optimālu stabilizēšanas metodi.

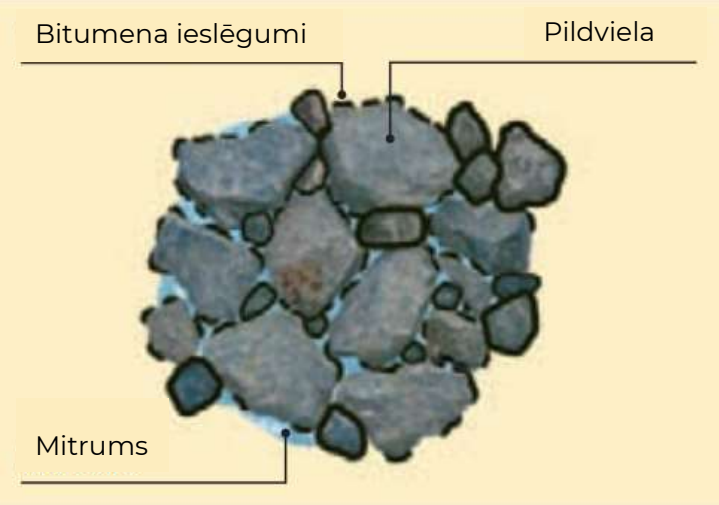


4-3.2. attēls. Atšķirīgu saistvielu īpašību kopsavilkums [34]

Ar bitumena emulsiju vai putu bitumenu stabilizēti maisījumi (BSM) slodzes ietekmē darbojas līdzīgi kā nesaistīti materiāli. Analogi nesaistītajiem materiāliem šādi reciklētu maisījumu nestspēju nodrošina daļiņu saķīlēšanās, tomēr tiem ir lielāks stingums un kohēzija. Bitumena mastikas viskozi elastīgā darbība nodrošina maisījuma darbību stiepes spēku ietekmē. Bitumens atšķirībā no karstā asfalta šajos materiālos nepārklāj visu daļiņu virsmu (skat. att. zemāk), tādēļ bitumena nogurums neietekmē to nestspēju. Dominējošais bojājumu veids – paliekošās deformācijas (maisījums darbojas visko-elastīgi).



4-3.3. attēls. Karstā asfalta struktūra – bitumens pilnībā pārklāj pildvielu virsmu [34]



4-3.4. attēls. BSM struktūra – bitumens ir izkliedēts starp daļiņām [34]

Izpētes ietvaros izvērtēti visi iepriekš minētie aukstās pārstrādes veidi. Identificētas to priekšrocības un trūkumi. Apskatīta ārvalstu un pašmāju vēsturiskā pieredze. Aprakstīta labā būvniecības prakse un kļūdas. Izteiktas rekomendācijas.

4.3.2. BSM un CBTM īpašību salīdzinājums

Praksē bieži rodas jautājums – kāda ir atšķirība starp ar cementa-bitumena saistvielu stabilizētiem maisījumiem (CBTM) un ar bitumena saistvielām saistītiem maisījumiem (BSM)? Abos materiālos ir gan bitumena, gan arī cementa saistvielas, abus var reciklēt objektā vai rūpnīcā. Ar ko tie savstarpēji atšķiras?

CBTM ir augstāks cementa saistvielas saturs. Tā ietekmē CBTM ir būtiski augstāks stingums un kohēzija nekā BSM, tādēļ, salīdzinot ar BSM, tie segas konstrukcijai nodrošina lielāku nestspēju [54].

CBTM mehāniskās īpašības ir atkarīgas no cementa un bitumena saistvielu satura un īpašībām. CBTM ar zemu cementa un bitumena saturu darbojas analogi BSM – to darbību ļoti ietekmē pieliktās slodzes, bet dominējošais sabrukšanas mehānisms ir paliekošās deformācijas.

Palielinot bitumena saturu (un līdz ar to arī bitumena/cementa attiecību maisījumā), CBTM maisījumam izteiktākas kļūst bituminēta maisījuma īpašības – tas kļūst viskozi-elastīgāks. Turpretim, palielinot cementa saturu (tādējādi samazinot bitumena/cementa attiecību maisījumā), CBTM maisījums kļūst stingāks, taču būtiski palielinās arī tradicionāliem CTM maisījumiem raksturīgais rukuma plaisu risks.

Tā kā CBTM sastāvā ir augstāks cementa apjoms nekā BSM, kritiska nozīme ir pareizam temperatūras režīmam. Augstāka temperatūra nodrošina ātrāku sacietēšanu un augstāku paliekošo materiāla stiprību. Pareizs temperatūras režīms nodrošina labāku cementa hidratāciju, kā rezultātā materiālā veidojas stiprākas ķīmiskās saites, kas nodrošina augstāku stingumu, nekā BSM. Tā rezultātā CBTM karstos laikapstākļos rodas mazāk risu [54].

4.3.3. Reciklēšana rūpnīcā (CCPR)

Atbilstoši CS2019 [33, p.6.4.2] reciklēšanu veic uzirdinot esošo segumu, pēc tam, ja nepieciešams, pievienojot jaunus minerālos materiālus un saistvielu, tad samaisot, izlīdzinot un sablīvējot. CS2019 reciklēšanu atļauts veikt, izmantojot arī pievestu nofrēzētu un/vai drupinātu un/ vai šķirotu asfaltu vai citus atgūtus materiālus, kuri iegūti tajā pašā vai citā būvobjektā.

Gadījumos, kad pievienojams jauns minerālais materiāls un putu bitumena saistviela, kā arī tad, ja nepieciešama materiāla uzkrāšana krautnē – viendabīga rezultāta un optimāla maisījuma sastāva sasniegšanai labāk piemērota reciklēšana rūpnīcā.

Galvenās metodes priekšrocības:

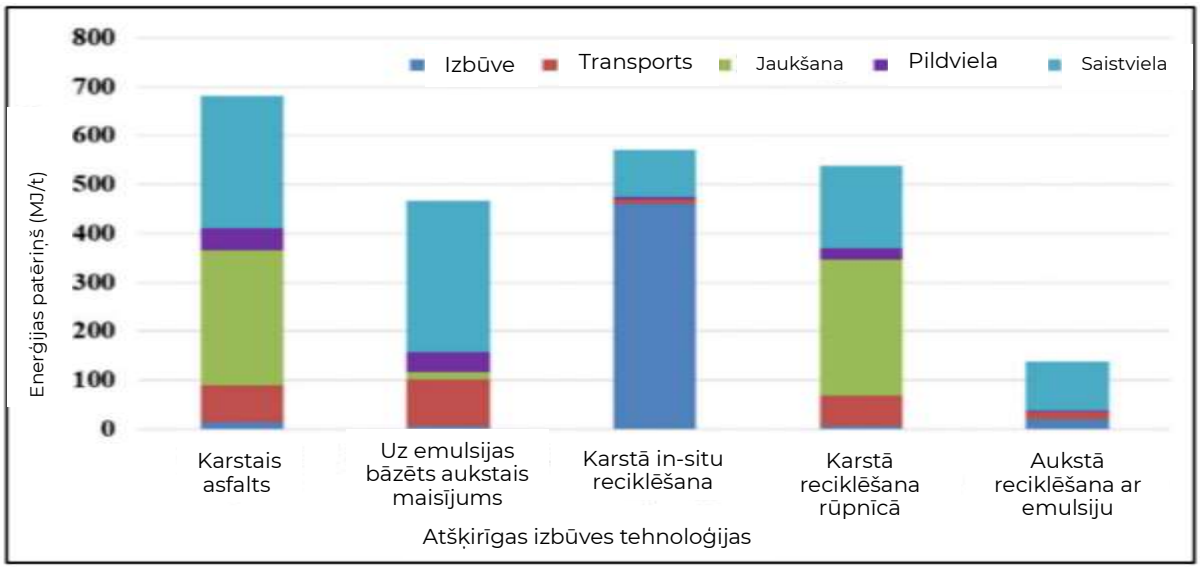
- Izejvielu apjoma kontrole. Izbūvējot reciklēto materiālu in-situ objektā, praktiski nav iespējams kontrolēt no esošās segas atgūtā materiāla viendabību. Rūpnīcā, atgūtajam materiālam pievienojot atšķirīgas frakcijas jaunu materiālu, iespējams izveidot optimālu maisījumu. Atgūto materiālu pirms sajaukšanas var uzkrāt un testa posmos sajaukt ar jaunu materiālu atšķirīgās proporcijās atbilstoši nepieciešamajam maisījuma sastāvam.
- Sajaukšanas kvalitāte. Rūpnīcā koriģējot sajaukšanas laiku, var iegūt maisījumus ar atšķirīgām īpašībām.
- Iespēja uzkrāt materiālu. Īpaši ar putu bitumenu apstrādātam materiālam – sajaukto materiālu var uzkrāt krautnē, lai izmantotu, kad nepieciešams. Tādējādi tiek novērsta sajaukšanas un ieklāšanas procesu sasaiste.

Galvenais metodes trūkums:

- Palielinātas būvdarbu izmaksas. Sadārdzinājumu rada transporta izdevumi līdz rūpnīcai, kuru nav in-situ reciklēšanas gadījumā objektā.

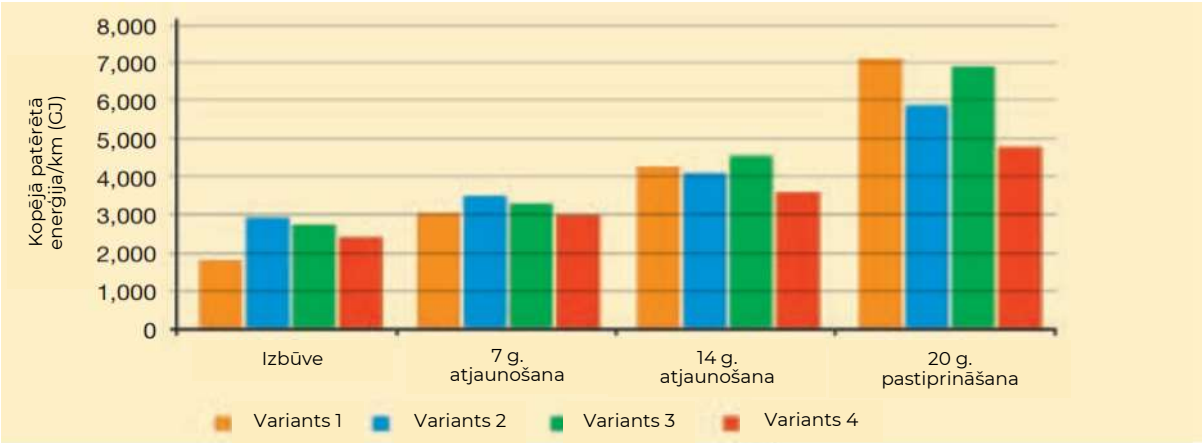
4.3.4. Reciklēšana objektā (CIR)

Saskaņā ar Kanādā publicētā pētījuma rezultātiem [40] in-situ reciklēšana objektā no ražošanas un materiālu patēriņa viedokļa uzskatāma par energoefektīvāko seguma atjaunošanas metodi (skat. att. zemāk – pēdējais stabiņš). Arī, salīdzinot ar reciklēšanu rūpnīcā, tā ir daudz energoefektīvāka.



4-3.5. attēls. Atšķirīgu atjaunošanas metožu enerģijas patēriņš [40]

Atbilstoši citam pētījumam (GbmH Wirtgen veiktajai ceļa dzīves cikla analīzei), in-situ reciklēšana, salīdzinot ar citām, alternatīvām esošā seguma atjaunošanas metodēm (nofrēzēšanu vai esošā seguma salāpīšanu un sekojošu jaunu pārklājkārtu izbūvi), arī visā ceļa dzīves ciklā, sākot ar 14 gadu, nodrošina vismazāko enerģijas patēriņu (skat. att. zemāk – sarkanais stabiņš).



4-3.6. attēls. Atšķirīgu pastiprināšanas metožu enerģijas patēriņš visā ceļa dzīves ciklā [34]

Balstoties uz šiem rezultātiem, var secināt, ka in-situ reciklēšana uzskatāma par ilgtspējīgas seguma saglabāšanas stratēģijas neatņemamu sastāvdaļu.

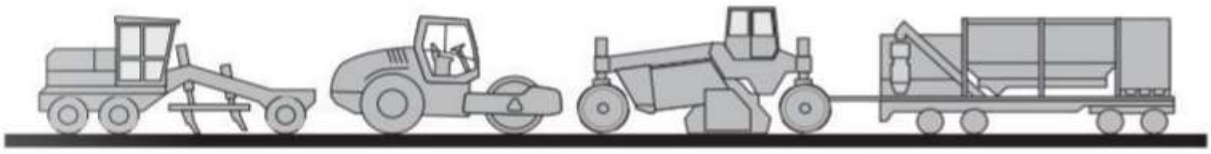
Mūsdienās reciklēšanu in-situ objektā veic ar specializētiem recikleriem, kuri darbojas vienotā tehnikas sastāvā ar citu procesam nepieciešamo tehniku, kas atkarīga no būvuzņēmēja rīcībā esošiem resursiem un izmantojamās saistvielas.

Galvenais metodes trūkums:

- Lielas sākotnējās investīcijas. Lai nodrošinātu CS2019 atbilstošu izstrādājumu kvalitāti, in-situ reciklēšanai objektā (īpaši ar putu bitumena saistvielu) nepieciešams iegādāties ļoti dārgas reciklēšanas iekārtas. Pie neliela atbilstošu pasūtījumu skaita tās sevi neatpelna un tehnoloģija nav rentabla.

Reciklēšanas process

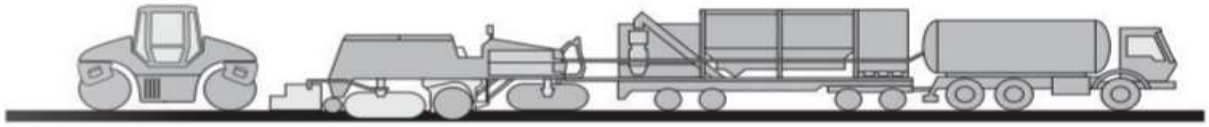
- Tradicionāli, esošo materiālu stabilizējot ar cementu, vispirms cementa-ūdens emulsiju no miksera iepumpē reciklerā. Reciklers safrēzē esošo segumu, sajauc to ar cementa emulsiju un uzklāj maisījumu. Pēc reciklera uzklāto maisījumu sablīvē smags vibrovalču veltnis. Autogreideris sekojoši noprofilē virsmu, ko pēc tam sablīvē veltņi ar vibrovalčiem vai pneimatiskajiem valčiem (skat. att. zemāk).



4-3.7. attēls. Reciklēšanas mašīnu sastāvs, materiālu stabilizējot ar cementu [35]

Alternatīvs risinājums – cementu pulvera veidā izkliedēt uz esošā seguma virsmas pirms reciklēšanas sastāva. Šajā gadījumā miksera vietā sastāvā brauc ūdens cisterna.

- Esošo materiālu, stabilizējot ar cementu un bitumena emulsiju vai putu bitumenu, veido līdzīgu reciklēšanas tehnikas sastāvu. Šajā gadījumā pirms cementa emulsijas miksera brauc arī bitumena cisterna. Mūsdienās parasti reiklers ir kāpurķēžu mašīna ar speciālu ieklājēju, tādēļ autogreideris nav nepieciešams (skat. att. zemāk).



4-3.8. attēls. Reciklēšanas mašīnu sastāvs, materiālu stabilizējot ar cementu un bitumenu vai putu bitumenu [35]

Ja cementu pulvera veidā izkliedē uz esošā seguma virsmas pirms reciklēšanas tehnikas sastāva, sastāvā pirmā pa priekšu brauc ūdens cisterna (skat. att. zemāk).

4-3.9. attēls. Rekomendētais reciklēšanas mašīnu sastāvs, materiālu stabilizējot ar cementu un bitumenu vai putu bitumenu [36]

Reciklēšana ar cementu un bitumena emulsiju vai putu bitumenu nomināli ir dārgāka, jo izmantojamas papildus tehnikas vienības, taču mūsdienās tā gūst aizvien lielāku popularitāti. Šādi reciklēti maisījumi (turpmāk tekstā – BSM) ir elastīgāki (ja cements <1,5% no masas), tajos nerodas ar rukumu saistītie defekti, kā arī šādi reciklētas segas ir ātrāk atklājamas satiksmei.

Reciklētā maisījuma stabilizēšanai izmantotā saistviela ietekmē ne tikai reciklēšanas tehnoloģisko procesu, bet arī nosaka reciklētā maisījuma īpašības. Turpmāk dota reciklētajos materiālos izmantoto saistvielu, to īpašību, priekšrocību un trūkumu analīze.

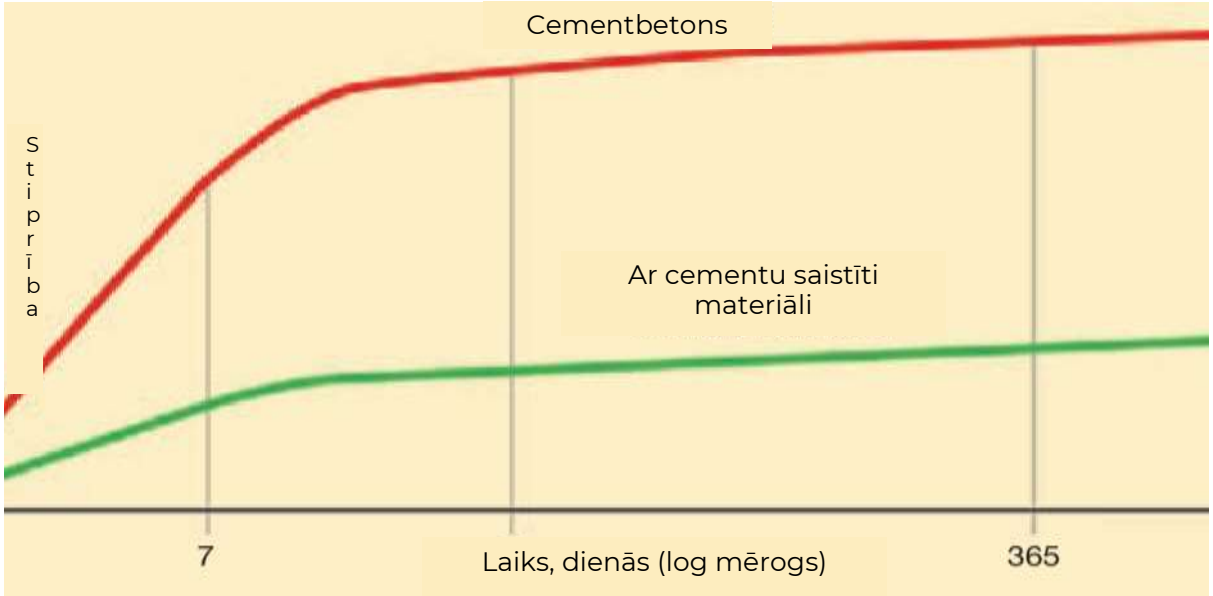
4.4. Saistvielas

4.4.1. Cements

Visizplatītākā no reciklēšanā izmantotajām saistvielām – plaši pieejams, viegli un lēti (~5 reizes lētāks par bitumenu) ražojams, relatīvi viegli izbūvējams. Galvenie trūkumi – relatīvi lēns sacietēšanas laiks, rukuma plaisas, salīdzinoši zema stiepes stiprība un satiksmes slodzes radītu plaisu rašanās potenciāls, kā arī ar virsmas sagrūšanu un materiāla nogurumu saistītie riski.

- Sacietēšanas laiks

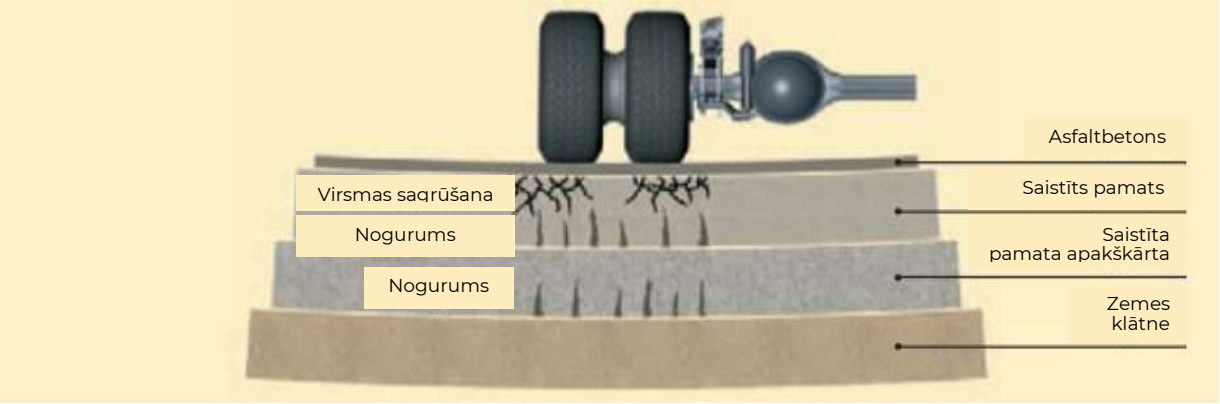
Cements sasniedz 50% no aprēķina spiedes stiprības tikai pēc 7 dienām, bet 90% – pēc 28 dienām (skat. att. zemāk). Ja šajā laikā pa reciklētā maisījuma kārtu atļauj lēni braucoša kravas transporta ar augstu riepu spiedienu kustību, tiek izjaukta materiāla kristāliskā struktūra un rodas sagrūšanas risks.



4-4.1. attēls. Ar cementu stabilizētu materiālu stiprība atkarībā no laika [34]

∇ Stiepes stiprība

Ar cementu stabilizētiem materiāliem ir relatīvi zema stiepes stiprība – tie ir ļoti trausli. Ceļa segās šis trauslums izpaužas kā pāragrs segas nogurums un plaisu veidošanās. Pārslogošanas gadījumā reciklētās kārtas apakšā (stiepes plaknē) rodas plaisas, kas izplatās uz augšējiem segas slāņiem. Šis ir ar cementu saistīto segas kārtu bojājumu rašanās pamatmodelis (skat. att. zemāk).



4-4.2. attēls. Bojājumu rašanās pamatmodelis ar cementu stabilizētos materiālos [34]

Plaisu tīklam attīstoties, materiāls pakāpeniski zaudē savu nestspēju, līdz atgriežas pie sākotnējas nestspējas, kāda tam bija pirms reciklēšanas.

∇ Virsmas sagrūšana

Ja reciklētajai kārtai izvēlēts nepietiekams biezums vai pārāk mazs pievienojamā cementa apjoms, kravas transporta slodžu iedarbībā reciklēto kārtu virsma sagrūst (skat. attēlu augstāk). Ja cementa apjoms ir pārāk liels – reciklētā kārta ir pārāk stinga un nestrādā labi kopā ar karstā asfalta segumu.

Lai novērstu pāragru kārtas sagrūšanu, projektēšanas stadijā būtiski izvēlēties atbilstošu seguma un reciklētās kārtas biezumu, kā arī piemērotu pievienojamā cementa apjomu. GbmH Wirtgen rekomendētie pievienojamā cementa apjomi atkarībā no nepieciešamās materiāla parauga spiedes stiprības (turpmāk tekstā – UCS) doti zemāk (skat. att. zemāk).

Typical cement application rates (percent by mass)		
Material type	Target UCS value	
	< 4 MPa	Up to 10 MPa
RAP/crushed stone (50/50 blend)	2.0 to 3.0	3.5 to 5.0
Graded crushed stone	2.0 to 2.5	3.0 to 4.5
Natural gravel (PI < 10, CBR >30)	2.5 to 4.0	4.0 to 6.0

4-4.3. attēls. Rekomendētie pievienojamā cementa apjomi (masas procentos) [34]

„Viegli cementētiem" materiāliem UCS rekomendēta mazāk par 4 MPa, „stipri cementētiem" – mazāk par 10 MPa.

Atbilstoši analizētajiem literatūras avotiem stipri cementētu CTM kārtu izbūve autoceļiem ar nestingajiem segumiem šo Vadlīniju ietvaros netiek rekomendēta (parasti tos izmanto objektos, kur sagaidāms liels apjoms koncentrētu slodžu, piem., kravas terminālos).

*Būvuzņēmēju viedoklis:

- CS aktuālajā redakcijā rekomendēts neatkarīgi no $AADT_{j,kravas}$ CTM kārtām UCS spiedes testā noteikt minimālo vērtību vismaz 3 MPa. Būvdarbu pieredze liecina, ka pie lielāka cementa apjoma (un lielākām UCS testa vērtībām) palielinās rukuma plaisu parādīšanās risks.

∇ Ar materiāla nogurumu saistītie riski

Laika gaitā mitruma ietekmē atsevišķos, ar cementu stabilizētos materiālos var attīstīties karbonizācijas procesi, kas sagrauj to mikrostruktūru. Tā rezultātā sagrūst materiāla kristāliskā struktūra un tas zaudē nestspēju. Lai novērstu karbonizācijas riskus, reciklētā maisījumu testa paraugiem rekomendēts veikt laboratorijas pārbaudes. Pētnieku vidū lielākoties dominē viedoklis, ka pietiekams materiāla parauga rezultāts ITS testā ir labākais indikators, lai novērstu karbonizācijas izraisītu materiāla sagrūšanu. Materiālam jāpievieno pietiekami daudz cementa saistvielas, lai ITS testā sasniegtu 250 kPa (neatkarīgi no UCS testā sasniegtās vērtības) [35].

∇ Secinājumi:

- Reciklējot esošo segumu ar cementa saistvielu, jānodrošina minimālais reciklētā maisījuma biezums 15 cm un minimālais cementa apjoms (pie >50% jauna minerālā materiāla) – vismaz 2% no masas.
- CTM rekomendēts saglabāt cementa apjomu 2%-4% robežās no masas un tam atbilstošo 28 dienu spiedes stiprību UCS ≥ 4 MPa.
- Lai novērstu karbonizācijas riskus, CTM materiāla paraugiem netiešās stiepes stiprības testā jāsasniedz minimālā vērtība ITS ≥ 250 kPa.

4.4.2. Bitumens

Bitumens savā dabiskajā formā istabas temperatūrā ir ļoti viskozs šķidrums un nav pielietojams reciklēšanai. Reciklēšanas procesam izmanto šādus bitumena produktus:

- Bitumena emulsiju ūdenī – t.s. bitumena emulsiju;
- Saputotu bitumenu, kam šādā pagaidu stāvoklī ir zema viskozitāte – t.s. putu bitumenu.

Zemāk dots abu šo materiālu īpašību salīdzinājums. Būtiskākā atšķirība – bitumena emulsiju iespējams lietot 20-70^{0}C temperatūrā, bet putu bitumens pirms sajaukšanas jāuzkarsē līdz 160-180^{0}C.

Table 4.2 Comparison between different types of bitumen applications

Factor	Bitumen Emulsion	Foamed Bitumen
Aggregate types applicable	– Crushed rock – Natural gravel – RAP, cold-mix – RAP, stabilised	– Crushed rock – Natural gravel – RAP, stabilised – Marginal (sands)
Bitumen mixing temperature	20 °C – 70 °C	160 °C – 180 °C (before foaming)
Aggregate temperature during mixing	– Ambient (cold)	– Ambient (cold)
Moisture content during mixing	90 % of OMC minus 50 % of emulsion content	Below OMC e.g. 65 % – 95 % of OMC
Type of coating of aggregate	Partial coating of coarse particles and cohesion of mix with bitumen / fines mortar	Coating of fine particles only with "spot welding" of mix from the bitumen / fines mortar
Construction and compaction temperature	Ambient	Ambient
Rate of initial strength gain	Slow	Medium
Modification of binder	Yes	Unsuitable
Important parameters of binder	– Emulsion type (anionic, cationic) – Residual bitumen – Breaking time – Curing	– Half-life – Expansion Ratio

4-4.4. attēls. Bitumena emulsijas un putu bitumena īpašību salīdzinājums [34]

4.3.2.1. Bitumena emulsija

Parasti sastāv no 60% bitumena un 40% ūdens. Pie lielākiem bitumena procentuālajiem apjomiem emulsija kļūst pārāk viskoza, lai to izmantotu reciklēšanai.

Lielākoties kopā ar bitumena emulsiju izmanto arī cementu. Cements uzlabo maisījuma spiedes stiprību, uzlabo pretestību mitruma ietekmei, kā arī kalpo kā katalizators – tas paātrina maisījuma sacietēšanu. Laboratorijas testi un ekspluatācijas pieredze liecina, ka maisījumam var pievienot līdz pat 1,5% cementa, nepasliktinot stabilizētās kārtas noguruma īpašības. Maksimāli pieļaujamais cementa apjoms – 2% [35].

Bitumena emulsijas ražošanai parasti izmanto bitumenus ar penetrāciju robežās no 70-100 [39], lai gan praksē sekmīgi izmantoti arī cietāki un mīkstāki bitumeni. Daudz būtiskāka par bitumena penetrāciju ir emulsijas tips.

Reciklēšanā izmanto divu tipu bitumena emulsijas – anjonu emulsiju un katjonu emulsiju. Tās izvēlas atkarībā no minerālās pildvielas tipa, kuru paredzēts stabilizēt – piem., dolomīts ir bāzisks, bet granīts un kvarcīts – skābi (skat. att. zemāk).

Aggregate Type	Compatible With	
	Anionic Bitumen Emulsion	Cationic Bitumen Emulsion
Dolerite	✓	✓
Quartzite	X	✓
Hornfels / Greywacke	✓	✓
Dolomite	✓	✓
Granite	X	✓
Andesite	✓	✓
Tillite	Variable	✓
Basalt	✓	✓
Sandstone	X	✓
Rhyolite	X	✓
Marble/Norite	✓	✓
Syenite	X	✓
Amphibolite	✓	✓
Felsite	X	✓

4-4.5. attēls. Atšķirīgu emulsiju tipu savietojamība ar dažādām pildvielām [39]

Katjonu emulsija nodrošina daudz labāku un ātrāku adhēziju, tādēļ tā īpaši piemērota dziļajai reciklēšanai (līdz 30 cm).

Trūkums – emulsijas ieguvei izmanto stipras skābes un sārmus, kas no ekoloģijas viedokļa rada vides piesārņojuma riskus.

Zemāk dotas pievienojamās bitumena emulsijas apjoma (% no masas) rekomendētās vērtības atkarībā no minerālās pildvielas tipa.

Table 4.4 Typical emulsion / residual bitumen contents (by mass)		
Material Type	Bitumen emulsion (%)	Residual bitumen (%)
RAP/crushed stone (50 : 50 blend)	2.5 to 5.0	1.5 to 3.0
Graded crushed stone	4.0 to 6.5	2.5 to 4.0
Natural gravel (PI<10, CBR<30)	5.0 to 7.5	3.0 to 4.5

4-4.6. attēls. Rekomendētie pievienojamās bitumena emulsijas apjomi (masas procentos) [34]

∇ Secinājumi:

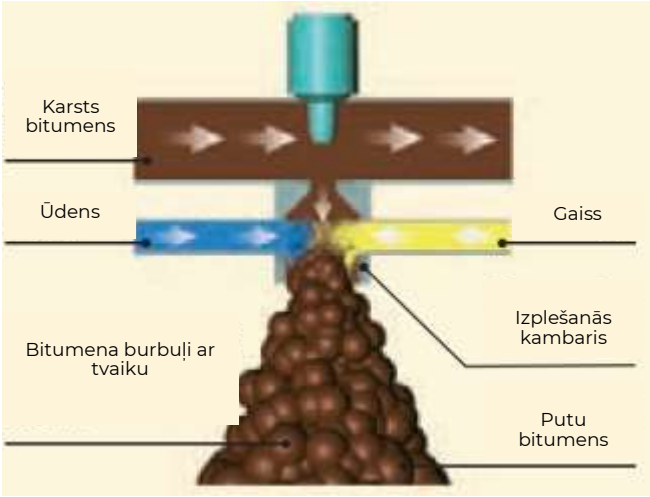
- Reciklējot esošo segumu ar bitumena emulsijas saistvielu, jānodrošina minimālais reciklētā maisījuma biezums 12 cm un minimālais emulsijas apjoms (pie >50% jauna minerālā materiāla) – vismaz 2,5% no masas.
- Rekomendētais atlikušās bitumena saistvielas apjoms maisījumā – 1,5-3%.
- Katjonu emulsiju drīkst pielietot kopā ar visiem iežu tipiem, tā nodrošina daudz labāku un ātrāku adhēziju, nekā anjonu emulsija.
- Ar anjonu emulsiju nedrīkst stabilizēt skābus iežus (piem., granītu un kvarcītu).

4.3.2.2. Putu bitumens

Atbilstoši CS2019 kā saistviela lietojams LVS EN 12591 atbilstošs (putu) bitumens, kura penetrācija +25^{0}C temperatūrā nav mazāka par 160×0,1 mm, kas testēta pēc EN 1426.

Atbilstoši GbmH Wirtgen rekomendācijām putu bitumena ražošanai parasti izmanto bitumenus ar penetrāciju robežās no 60-200, lai gan praksē sekmīgi izmantoti arī cietāki bitumeni.

Putu bitumenu iegūst, karstu (160-180^{0}C) bitumenu speciālā izplešanās kamerā apstrādājot ar gaisa strūklu un nelielu daudzumu (2%) molekulāra ūdens.



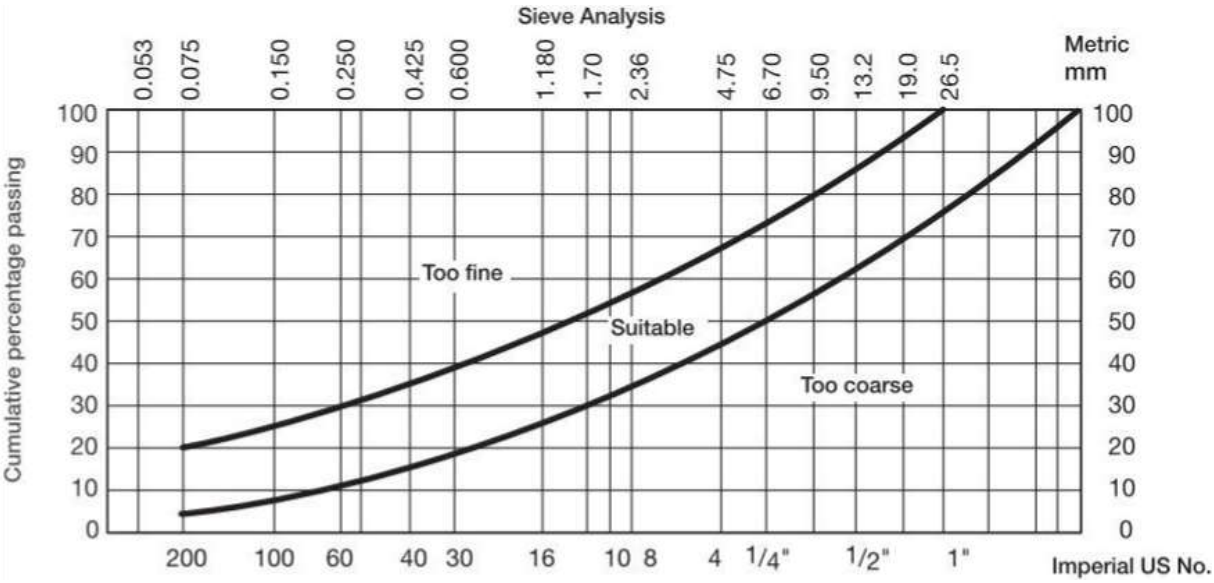
4-4.7. attēls. Putu bitumena ražošana [34]

Putu bitumenam, salīdzinot ar bitumena emulsiju, ir vairākas būtiskas priekšrocības:

- Zemākas transporta un izbūves izmaksas – putu bitumenam pie iestrādes jāpievieno minimāls daudzums ūdens – tikai ~2% no bitumena masas;
- Satiksmi pa ar putu bitumenu saistīta materiāla kārtu var atklāt uzreiz pēc kārtas izbūves;
- Ar putu bitumenu saistīts materiāls saglabā iestrādājamību ilgu laiku pēc saražošanas. To var uzkrāt atklātās krautnēs, neuztraucoties par bitumena izskalošanos;
- Ar putu bitumenu objektā var apstrādāt relatīvi mitrus, esošos segas minerālos materiālus. Iegūtā materiāla īpašības no tā būtiski nemainās.

Lai putu bitumens labi saistītos ar minerālo materiālu, tam jāsatur vismaz 5% putekļaino daļiņu (<0,075 mm). Izmantojamā minerālā materiāla rekomendētā granulometrijas līkne sniegta zemāk.

Neatbilstošu materiālu ar nepietiekamu putekļaino daļiņu (<0,075 mm) apjomu var uzlabot ar cementu vai kaļķiem, tomēr, lai nepasliktinātu stabilizējamās kārtas elastību, cementa apjoms nedrīkst pārsniegt 1,5% no masas.



4-4.8. attēls. Prasības ar putu bitumenu apstrādājamā materiāla granulometrijai [35]

Zemāk dotas pievienojamā putu bitumena apjoma (% no masas) rekomendētās vērtības atkarībā no minerālās pildvielas tipa, kā arī iegūstamā materiāla deformācijas modulis. No tabulas redzams – jo pielietotajai minerālajai pildvielai ir smalkāka frakcija, jo materiālam ir

zemāks deformācijas modulis, un pildvielas stabilizēšanai jāizmanto lielāks apjoms putu bitumena.

Table 4.10 Resilient Moduli ranges for bitumen stabilised material after reaching the steady state (Phase 2)

Material type	Foamed bitumen added (%)	Resilient Modulus $MR_{Phase 2}$ (MPa)
100 % RAP	1.5 to 2.0	1000 to 2500
RAP / crushed stone (50:50 blend)	2.0 to 2.5	800 to 2000
Graded crushed stone	2.0 to 3.0	600 to 1500
Natural gravel (PI < 10, CBR > 45)	2.0 to 3.5	400 to 800
Natural gravel (PI < 10, CBR > 25)	2.5 to 4.0	300 to 600
Non-plastic sands	3.0 to 5.0	200 to 500

4-4.9. attēls. Rekomendētie pievienojamā putu bitumena apjomi (masas procentos) un iegūstamā materiāla deformācijas modulis [35]

∇ Secinājumi:

- Reciklējot esošo segumu ar putu bitumenu, jānodrošina minimālais reciklētā maisījuma biezums 12 cm un rekomendētais putu bitumena apjoms (pie >50% jauna minerālā materiāla) – 2%-2,5% no masas.
- Neatkarīgi no pildvielas nedrīkst pievienot vairāk par 5% putu bitumena.
- Būtisks tehnoloģiskais apsvērums – ar putu bitumenu saistītus materiālus var uzkrāt atklātās krautnēs, neuztraucoties par bitumena izskalošanos.

4.5. Konstrukcijas

(existing pavements) | surfacing | BC: Asphalt Base | C: Cement stabilised | B: Bitumen stabilised | Layer thickness in mm

Typical Pavement before recycling	Subgrade support (CBR)	Recycled Pavement Structures							
		Design Traffic (x10⁶ ESALs)	< 0.3		0.3 – 1.0		1.0 – 5.0		5.0 – 10.0
		Typical Strength Characteristics of Recycled Material	Residential / Lightly Trafficked Roads		Rural Roads		Major Rural Roads		Freeways and Major Interurban Roads
HMA > 100 mm, Granular (CBR > 80), Subgrade support	> 45 %						50 AC 250 C	50 AC 175 B	50 AC 300 C / 50 AC 225 B
	± 25 %	Typical ITS values (kPa): Bitumen (B) 400, Cement (C) 250					50 AC 300 C	50 AC 200 B	40 AC 60 BC 300 C / 50 AC 275 B
	< 7 %	Typical UCS values (kPa): Cement (C) 2000					40 AC 160 BC 300 C	40 AC 80 BC 300 B	40 AC 220 BC 300 C / 40 AC 140 BC 300 B
HMA < 100 mm, Granular (CBR > 80), Subgrade support	> 45 %		Seal 225 C	Seal 175 B	Seal 275 C	Seal 200 B	50 AC 275 C	Seal 275 B	40 AC 50 BC 300 C / 50 AC 250 B
	± 25 %	Typical ITS values (kPa): Bitumen (B) 300, Cement (C) 200	Seal 250 C	Seal 200 B	50 AC 225 C	Seal 225 B	40 AC 50 BC 250 C	50 AC 250 B	
	< 7 %	Typical UCS values (kPa): Cement (C) 1500	50 AC 300 C	50 AC 250 B	40 AC 80 BC 300 C	50 AC 300 B	40 AC 180 BC 300 C	40 AC 120 B	
With or without seal, Granular (CBR > 45), Granular (CBR > 45), Subgrade support	> 45 %		Seal 250 C	Seal 200 B	Seal 300 C	Seal 250 B	50 AC 300 C	50 AC 250 B	
	± 25 %	Typical ITS values (kPa): Bitumen (B) 200, Cement (C) 150	Seal 300 C	Seal 225 B	50 AC 250 C	Seal 275 B	40 AC 50 BC 300 C	50 AC 300 B	
	< 7 %	Typical UCS values (kPa): Cement (C) 750	40 AC 50 BC 300 C	50 AC 300 B	40 AC 100 BC 300 C	40 AC 60 BC 300 B	40 AC 200 BC 300 C	40 AC 150 BC 300 B	

4-5.1. attēls. GbmH Wirtgen rekomendācijas segas pastiprināšanas tipveida konstrukcijām ar reciklētiem maisījumiem atkarībā no ceļa noslodzes, esošā seguma biezuma un pamata materiālu nestspējas [35]

Vadošais in-situ reciklēšanas iekārtu ražotājs GbmH Wirtgen, balstoties uz ilggadēju laboratorijas testu un empīrisku izmēģinājumu pieredzi, ir izstrādājis tipveida reciklēto konstrukciju katalogu (skat. att. iepriekš).

Piezīme: Katalogā ceļu noslogojumu raksturo 80 kN ekvivalentās standarta ass slodzes (no angļu val. – ESAL). Latvijā projektēšanā izmanto 100 kN aprēķina ass slodzes.

Katalogā piedāvātās konstrukcijas sniegtas informatīvi. Tās ļauj analizēt reciklēto materiālu pielietojuma iespējas un to robežas. Apskatot konstrukciju tipus un biezumus, identificētas vairākas vispārīgas likumsakarības, kas sniegtas kopsavilkumā.

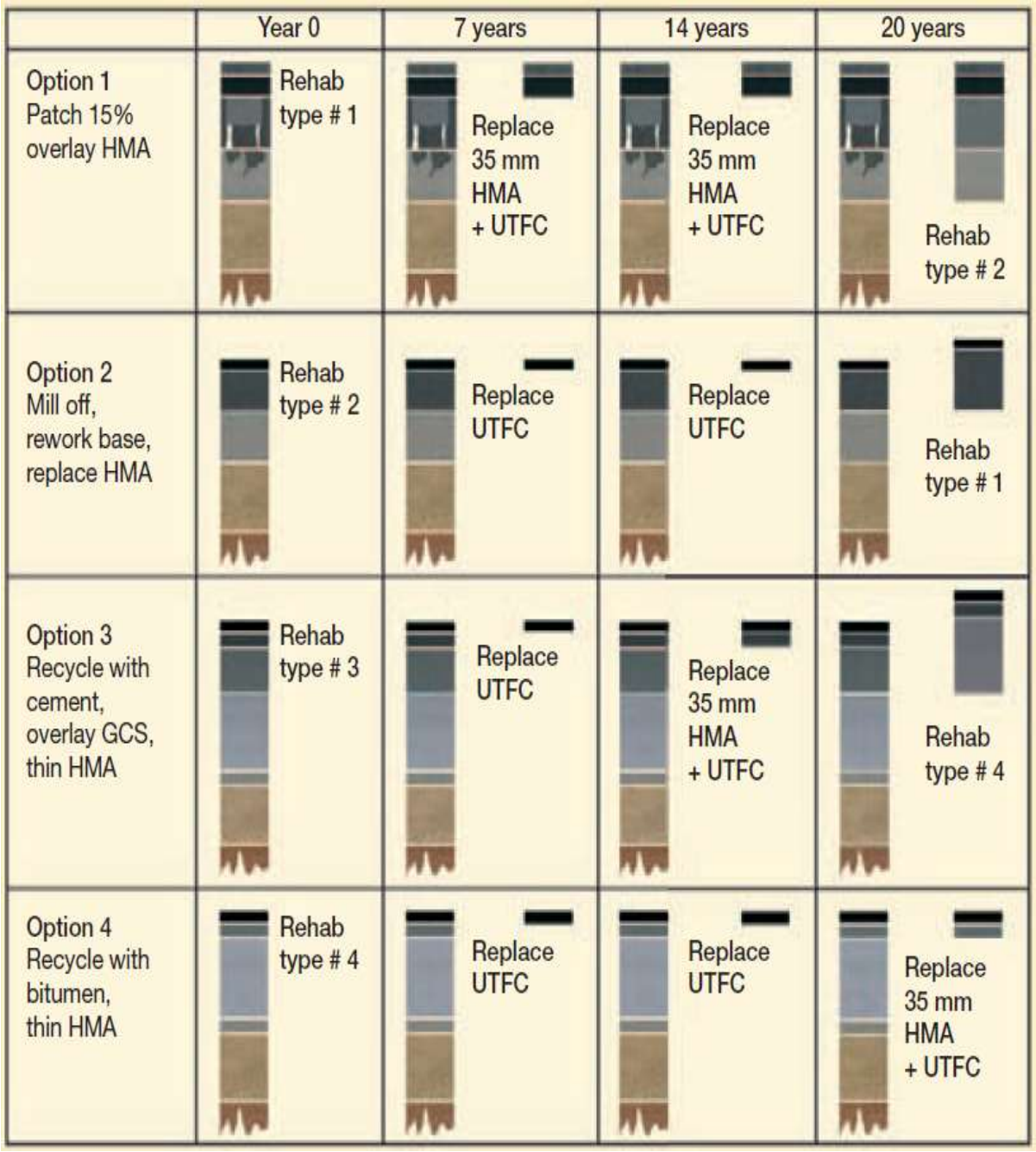
∇ Kopsavilkums:

1. BSM (tabulā – B) ir par ~30% lielāka netiešā materiāla stiepes stiprība (ITS), nekā CTM (tabulā – C), tādēļ BSM gadījumā reciklētās konstrukcijas kārta var būt par ~25%-30% plānāka.
2. Analoga biezuma CTM un BSM kārtu gadījumā, izmantojot BSM, iespējams paredzēt plānāku vai (atsevišķos gadījumos) neveidot karstā asfalta seguma apakškārtu.
3. Pie pietiekamas esošā pamata nestspējas, maz noslogotiem autoceļiem rekomendēta segas pastiprināšana ar esošā seguma reciklēšanu un sekojošu reciklētā maisījuma virsmas apstrādi.
4. Rekomendētie CTM kārtu biezumi – 22,5-30 cm, rekomendētie BSM kārtu biezumi – 17,5-30 cm.

∇ Secinājumi:

1. Reciklēšana (ar saistvielu) kopā ar sekojošu virsmas apstrādi izskatāma kā tehniski un ekonomiski ļoti piemērots risinājums maz noslogotu autoceļu segu pastiprināšanai. Rekomendēts izvērtēt pielietošanu valsts vietējo autoceļu tīklā.
2. BSM risinājums, salīdzinot ar CTM, uz kārtas biezuma rēķina nodrošina materiāla ekonomiju.
3. CBTM maisījumi, salīdzinot ar BSM maisījumiem, ir dārgāki, jo tajos izmanto lielāku cementa saistvielas apjomu, taču tie arī nodrošina augstākus nestspējas rādītājus un labākas ekspluatācijas īpašības (īpaši pie paaugstinātām temperatūrām). Rekomendēts izvērtēt pielietošanu valsts autoceļu tīklā.

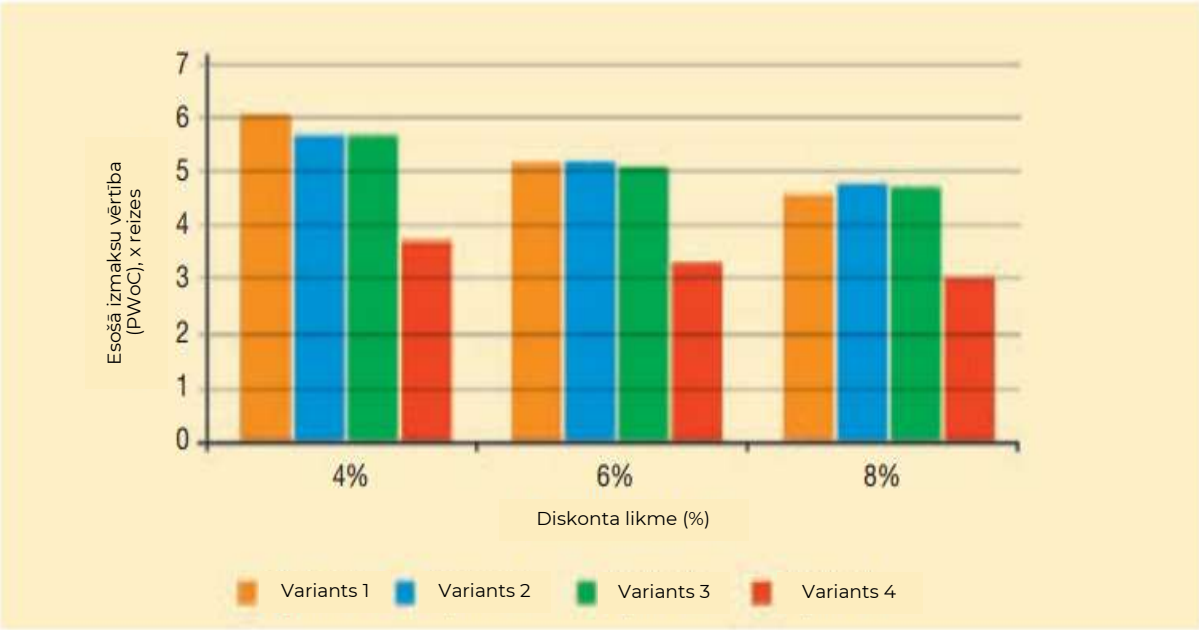
Zemāk sniegts GbmH Wirtgen skatījumā optimālais segas saglabāšanas modelis, izmantojot atšķirīgas saglabāšanas alternatīvas. Līdzīgi kā FHWA ziņojuma piemērā (skat. nod. 1.3) – seguma atjaunošanas/segas pastiprināšanas darbi paredzēti ik pēc 7 gadiem (skat. att. zemāk).



4-5.2. attēls. GbmH Wirtgen rekomendētās optimālas saglabāšanas politikas alternatīvas [34]

Atbilstoši šīm saglabāšanas rekomendācijām BSM (4. alternatīva) pielietojams kā alternatīva divām citām segas kārtām – CTM un virs tā esošam jaunu šķembu pamatam (3. alternatīva).

Šīm četrām segas saglabāšanas alternatīvām veikta ceļa dzīves cikla izmaksu analīze. Atbilstoši tai visā 20 gadu ceļa ciklā BSM no visām četrām apskatītajām alternatīvām nodrošina vislielāko izmaksu efektivitāti (skat. att. zemāk – sarkanais stabiņš).



4-5.3. attēls. Dažādu seguma atjaunošanas metožu izmaksu efektivitāte pie atšķirīgām diskonta likmēm 20 gadu dzīves ciklam – labākie rādītāji BSM (sarkanais stabiņš) [34]

Attiecīgi – lai gan bitumens ir relatīvi dārgs materiāls, tā izmantošana visā ceļa dzīves ciklā ekonomiski sevi attaisno.

Turpmāk sniegta reciklētu maisījumu ārzemju ekspluatācijas pieredze. Tā salīdzināta ar pašreiz spēkā esošajām CS2019 prasībām.

4.6. Ekspluatācijas pieredze

4.6.1. Igaunija

Nodaļā apskatīta Igaunijā valdošā reciklēšanas prakse, atklātās ekspluatācijas problēmas un piedāvātie risinājumi. Zemāk sniegts kopsavilkums par Igaunijā pašlaik plašāk pielietotajiem tipveida reciklēšanas risinājumiem [41].

4-6.1. tabula. Esošā reciklēšanas prakse

Minerālā pildviela	Pieberamā min. mat. frakcija	Reciklētās maisījuma kārtas vidējais biezums (cm)	Maisījuma tips	Saistvielas apjoms (%)
50% RA + 50% jauns minerālais materiāls	Frakcionētas šķembas ar frakciju 16/32 mm	15 cm	CBTM	0,8..1,5% putu bitumens; 2..3% (līdz 6%) cements
50% RA + 50% jauns minerālais materiāls	Frakcionētas šķembas ar frakciju 16/32 mm	n/d	BSM	1,0..1,5% putu bitumens; reti 1% cements
100% jauns minerālais materiāls	Frakcionētas šķembas ar frakciju 16/32 mm	n/d	CTM	min. 2,5% cements

- Galvenā problēma: izbūvētie maisījumi dažkārt nenodrošina minimāli nepieciešamo UCS stiprību.

- Identificētie problēmas galvenie cēloņi:

  1. Igaunijā vēsturiski arī segumā esošais bitumens tiek uzskatīts par saistvielu, citviet pasaulē – esošais, reciklētais seguma materiāls uzskatāms par t.s. „melnajām šķembām", kas izmantojamas tikai kā pildviela.

  Tā rezultātā maisījumiem pievieno par maz jaunās putu bitumena saistvielas, bet segumā esošais bitumens ne vienmēr nodrošina nepieciešamās maisījuma īpašības.

  2. CBTM maisījumos proporcionāli ir par daudz cementa saistvielas un par maz bitumena saistvielas.

  Atbilstoši pasaules praksei (Kanāda, DĀR, Wirtgen) CBTM un BSM maisījumos bitumenam ir jādominē (skat. tab. zemāk), lai nodrošinātu maisījuma elastību un

pietiekamu netiešo stiepes stiprību (ITS). Veidojot maisījumus ar paaugstinātu cementa saistvielas apjomu, maisījums kļūst trauslāks.

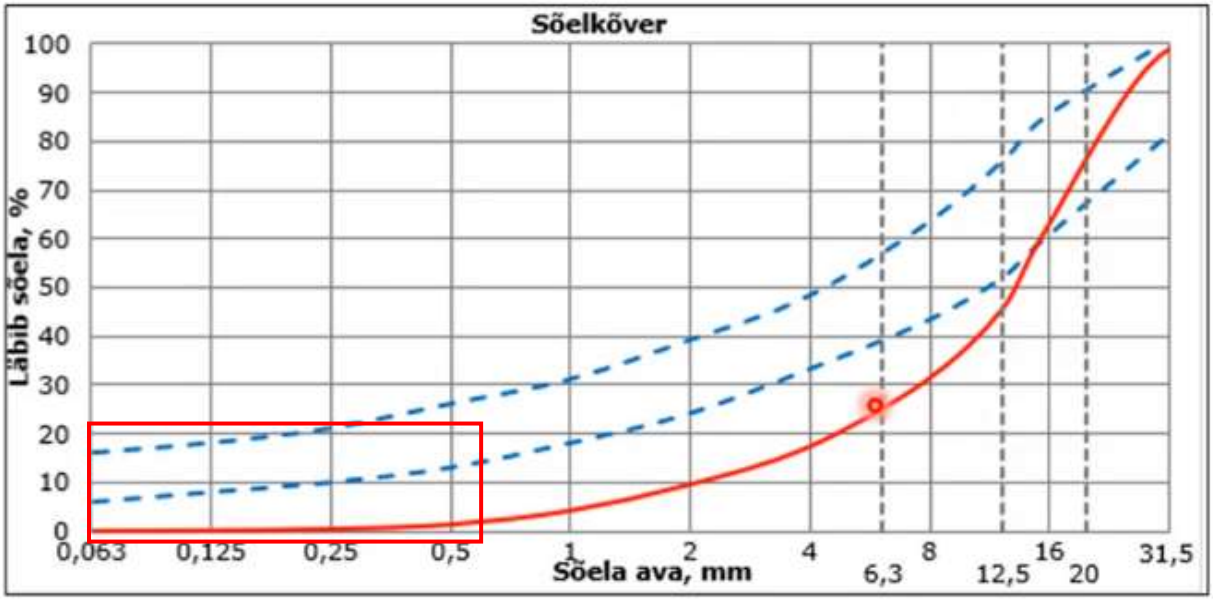
4-6.2. tabula .Pievienojamais saistvielas apjoms (% no masas)

Wirtgen [35]	Kanāda [40]	Igaunija [41]
2..3% putu bitumens; 1..3% cements	1..3% putu bitumens; 1..3% cements	0,8..1,5% putu bitumens; 2..3% (līdz 6%) cements

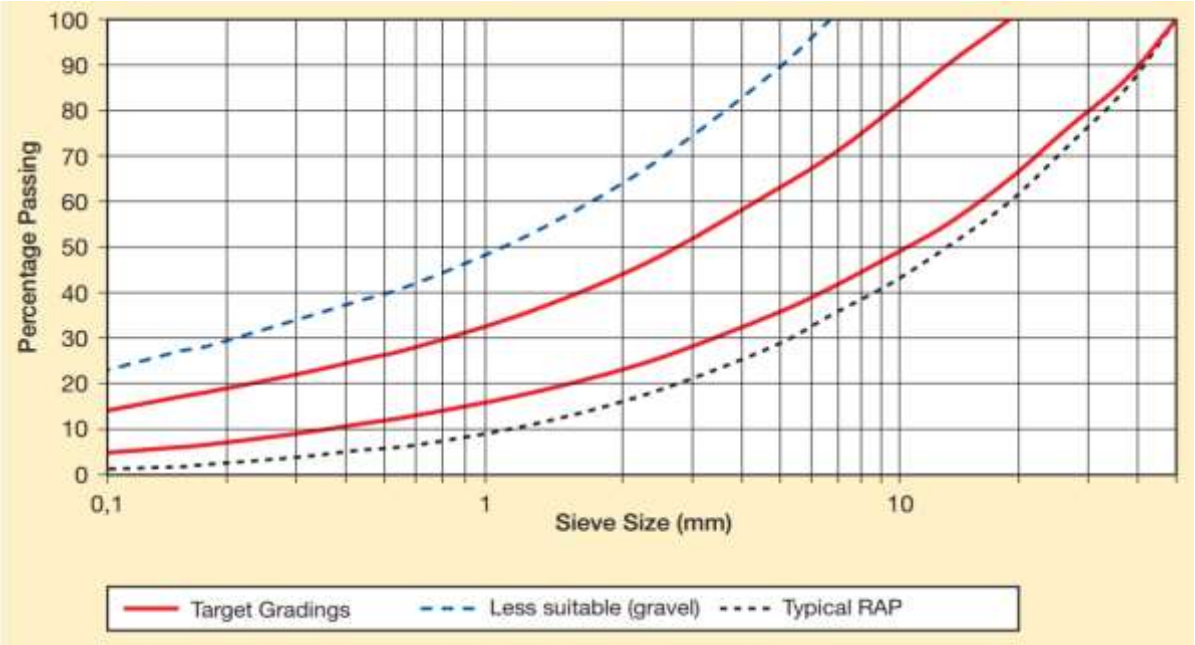
4-6.3. Maisījumos ir nepietiekams apjoms putekļaino daļiņu.

CBTM maisījumos tieši putekļainās daļiņas nodrošina minerālā materiāla viendabīgu sasaisti ar bitumenu. Ja to apjoms ir pārāk mazs, bitumena pilieni salīp neviendabīgi izkliedētos materiāla ieslēgumos, kas samazina maisījuma nestspēju. Maksimālais pieļaujamais putekļaino (<0,075 mm) daļiņu apjoms – 20%. Minimālais pieļaujamais putekļaino daļiņu apjoms:

- bitumena emulsijai – 4-5%;
- putu bitumenam – 2%.



4-6.1. attēls. Igaunijā normatīvi prasītais (ar zilu) un faktiski fiksētais (ar sarkanu) putekļaino daļiņu saturs reciklētajos maisījumos [41]



4-6.2. attēls. GbmH Wirtgen rekomendētās granulometrijas līknes [34]

∇ Risinājumi:

1. CBTM un BSM maisījumos jāpalielina bitumena saistvielas proporcija un jāierobežo pievienojamā cementa apjoms;
2. CBTM maisījumiem jādefinē maksimālā 28 dienu UCS – mazāk par 5 MPa;
3. Jāpalielina kopējais pieļaujamais putekļaino daļiņu īpatsvars maisījumā;
4. Kā minerālā pildviela papildus jāparedz arī putekļains materiāls.

4-6.4. tabula. Rekomendētā reciklēšanas prakse

Minerālā pildviela	Pieberamā min. mat. frakcija	Maisījuma tips	Saistvielas apjoms (%)
Līdz 70% RA + 30% jauns minerālais materiāls	Frakcionētas šķembas fr. 16/32 mm + Dolomīta atsijas fr. 0/5mm vai Min. Mat. maisījums 0/32	CBTM	1,5..2,5% putu bitumens + 2% cements
Līdz 70% RA + 30% jauns minerālais materiāls		BSM	1,5..2,5% putu bitumens + līdz 1% cements

- Secinājumi:

  1. Lai pilnībā izmantotu bitumena saistvielas elastību, tās apjomam CBTM un BSM maisījumos nevajadzētu būt mazākam par 1,5%;
  2. Lai nodrošinātu optimālu reciklētā maisījuma saisti un viendabību, tam ir jāpievieno zināms daudzums minerālo putekļu;
  3. BSM maisījumi ir elastīgāki par CBTM maisījumiem, tādēļ, tos rekomendēts izmantot maz noslogotos ceļos ($AADT_{j,smagie}$<100) ar plānākām segas konstrukcijām;
  4. Igaunijas tirgū brīvi pieejamās ātri cietējošās anjonu un katjonu, kā arī lēni cietējošās katjonu bitumena emulsijas ar penetrāciju 160/200 nespēj nodrošināt putu bitumenam analogas ekspluatācijas īpašības, tādēļ tās netiek rekomendētas.

4.6.2. Lietuva

Nodaļā sniegts pārskats par Lietuvā valdošo reciklēšanas praksi un aktuālajiem pētījumiem. Īpaši pievērsta uzmanība valstī pielietotās reciklēšanas tehnoloģijas īpatnībām un atšķirībām no Latvijā un Igaunijā valdošajām praksēm [51].

- Identificētas sekojošas atšķirības:

  1. Pašlaik izstrādātas un spēkā esošas atsevišķas vadlīnijas reciklēšanai objektā un rūpnīcā, taču praksē tiek pielietota gandrīz tikai un vienīgi reciklēšana rūpnīcā (CCPR) (Igaunijā – gandrīz vienmēr – reciklēšana objektā (CIR)).
  2. Pārsvarā reciklēšanu veic tikai izmantojot bitumena un cementa saistvielu (CBTM). Maisījumos dominē bitumena saistviela.
  3. Reciklēšanas vadlīnijas balstās uz Vācijā pielietoto normatīvo bāzi, nevis GbmH Wirtgen metodiku (Igaunijā izmanto lokalizētu GbmH Wirtgen metodiku). Salīdzinot ar GbmH Wirtgen metodikā rekomendētajiem saistvielas apjomiem BSM maisījumā, Lietuvā izmanto lielāku kopējo saistvielas apjomu (skat. tab. zemāk).

4-6.5. tabula. CBTM Pievienojamais saistvielas apjoms (% no masas)

Wirtgen [35]	Lietuva [51]
2..3% putu bitumens; 1..3% cements	2..3,5% putu bitumens; 2% cements vai 1,9..5% bitumena emulsija; 1,5..2,4% cements

4. Kā bitumena saistvielu praksē pārsvarā izmanto bitumena emulsiju (Igaunijā – putu bitumenu).
5. Kā pildvielu praksē pārsvarā izmanto nesaistītu minerālmateriālu maisījumu – parasti 0/32 (Igaunijā – frakcionētas šķembas).
6. Salīdzinot ar Latvijas praksi, CBTM maisījumos parasti izmanto lielāku atgūtā materiāla apjomu – reciklētā asfalta pildvielas apjoms (līdz pat ~70%).
7. Salīdzinot ar Latvijā valdošo projektēšanas praksi, Lietuvā attīsta E-M aprēķina metodiku. Vidējo deformācijas moduļa E vērtību reciklētiem maisījumiem tajā ievada atbilstoši FWD datiem – parasti ~3000 MPa.

Plaši tiek pētītas iespējas pārbūvējamās ceļa segās kā pamatrisinājumu nesaistīto minerālmateriālu vietā pielietot reciklētus maisījumus. Atšķirīgos pētījumos identificētas vairākas, būtiskas likumsakarības [53]:

1. CBTM maisījumu nestspēja līdz kalpošanas 3-5 gadam palielinās un tikai tad sāk transporta un vides ietekmes iespaidā samazināties. Šādu nestspējas palielināšanos nosaka ķīmiskie procesi CBTM maisījumā.
2. Lauka apstākļos ar putu bitumenu un saistvielu saistītiem materiāliem sākotnēji (uzreiz pēc kārtas izbūves) ir par ~1/3 augstāka nestspēja nekā ar bitumena emulsiju un cementu stabilizētiem maisījumiem, taču segas kalpošanas 3 gadā nestspēja kārtām ar abiem saistvielas tipiem izlīdzinās.
3. CCPR kārtas ir daudz saljūtīgākas par nesaistītājām minerālmateriālu maisījumu kārtām, tādēļ to izmantošanas gadījumā jāpievērš uzmanība segas attālumam no ilgi stāvoša ūdens avotiem.
4. CCPR pamata kārtas ir daudz neviendabīgākas par nesaistīto minerālmateriālu maisījumu pamatiem, kā rezultātā arī segas nestspēja (balstoties uz FWD datiem) ceļa posmos ar CCPR pamata kārtām ir neviendabīgāka (vidēji par 20-30%).

Balstoties uz autoceļu ar CBTM pamata kārtām ilgtermiņa (līdz ~17 gadiem) ekspluatācijas pieredzi, Lietuvā identificētas segas konstrukcijas, kas nodrošina labāko seguma stāvokli un ekspluatācijas īpašības (skat. tab. zemāk) [51]. Seguma stāvoklis noteikts, izmantojot 1) IRI, 2) rises un 3) vispārējo bojājumu apjomu.

4-6.6. tabula. Ceļa segas konstrukcijas ar CBTM pamatu

Valsts galvenie autoceļi	Nacionālas nozīmes autoceļi
• AC11 surf dilumkārta 4 cm biezumā; • AC22 base/bin saistes kārta 8 cm biezumā; • CCPR kārta 20 cm biezumā (saistviela – bitumena emulsija un cements).	• AC11 surf dilumkārta 4 cm biezumā; • AC16 base/bin saistes kārta 6 cm biezumā; • CCPR kārta 20 cm biezumā (saistviela – bitumena emulsija un cements).

∇ Secinājumi:

1. ICP.CS pilnveides ietvaros nepieciešams izvērtēt Lietuvā segas aprēķinos izmantotās CBTM un CTM maisījumu materiāla vērtības.
2. Tālākos pētījumos Jāizvērtē un eksperimentāli jāpārbauda, kura (Lietuvā vai Igaunijā) izmantotā reciklēšanas metodika sniedz ilgtspējīgāko un izmaksu efektīvāko risinājumu.

4.6.3. Latvija

Latvijā aukstās pārstrādes tehnoloģiju valsts autoceļu tīklā pašlaik normatīvi regulē „Ceļu specifikācijas 2019" (p.6.4). Zemāk dots salīdzinājums par Latvijā normatīvi regulētajiem un ārvalstīs praksē pielietotajiem reciklēto CTM un CBTM maisījumu sastāviem.

4-6.7. tabula. CTM Pievienojamais saistvielas apjoms (% no masas)

Wirtgen [35]	Kanāda [40]	Īrija [54]	Igaunija [41]	Lietuva [51]	Latvija [33, p. 6.4.4.1]
2..4% cements	1..6% cements	2..3,5% cements	2,5..6% cements	3,5..6% cements	2..6% (8%) cements

4-6.8. tabula. CBTM Pievienojamais saistvielas apjoms (% no masas)

Wirtgen [35]	Kanāda [40]	Īrija [54]	Igaunija [41]	Lietuva [51]	Latvija [33, p. 6.4.4.1]
2..3% putu bitumens; 1..3% cements	1..3% putu bitumens; 1..3% cements	2..3,5% putu bitumens; 1..2,5% cements	0,8..1,5% putu bitumens; 2..3% (līdz 6%) cements	2..3,5% putu bitumens; 2% cements vai 1,9..5% bitumena emulsija; 1,5..2,4% cements	1,5..3% putu bitumens; 1% cements vai 3,5..7% bitumena emulsija; 1..1,5% cements

- ∇ Identificētā problēma: CTM kārtās dažkārt rodas un attīstās plaisas.

*Būvuzņēmēju viedoklis:

- Galvenais plaisu cēlonis stipri cementētiem maisījumiem – rukuma plaisas no pārlieka cementa apjoma maisījumā.

Salīdzinot ar ārzemju praksi, Latvijas normatīvajā regulējumā (CS2019) reciklētajos maisījumos fiksētas vairākas īpatnības:

- ∇ CTM maisījumos pieļaujams ļoti augsts cementa apjoms (līdz 8%), ja sasniedzama ≥5 MPa paliekošā materiāla stiprība.

Atbilstoši ICP.CS pielikumam „Pastiprināšana" (p.4.4.3.): „Pievienojamais cementa daudzums atkarīgs no kravas transportlīdzekļu satiksmes intensitātes (≤500$_{kravas}$ 2-6%;>500$_{kravas}$ 4-8%)".

Ārzemju prakse liecina, ka vispārīgās lietošanas autoceļiem ar nestingajiem segumiem tik augsta materiāla stiprība spiedē (un līdz ar to arī tik augsts cementa saistvielas apjoms) nav tehniski un ekonomiski pamatots. Atbilstoši AASHTO datiem CBTM ar frakcionētu šķembu pildvielu UCS parasti ir robežās līdz 3 MPa [34].

Piemēram – Igaunijā (atbilstoši EVS EN 13286-41) UCS prasības CTM ir: ≥2 MPa pēc 7 dienām, kā arī ≥4 un ≤12 MPa pēc 28 dienām [41]. Jaunajās rekomendācijās Igaunijā piedāvāts CBTM 28 dienu UCS stiprību ierobežot pat līdz ≤5 MPa.

Rekomendācijas:

- ✓ Izvērtēt minimālās stiprības pēc 28 dienām prasības samazināšanu līdz UCS ≥4MPa.
- ✓ Izvērtēt maksimāli pieļaujamā cementa saistvielas apjoma ierobežojumu līdz 6%.
- ✓ Izvērtēt maksimālās spiedes stiprības UCS robežlieluma ieviešanu.

∇ CBTM/BSM maisījumos ļoti augsts bitumena emulsijas apjoms (līdz 7%).

Atbilstoši ārvalstu praksei bitumena saistvielas saturs BSM maisījumos nepārsniedz ~3-3,5%. Bitumena saistvielas pievienojamais apjoms ir tieši atkarīgs no minerālās pildvielas putekļaino daļiņu apjoma – jo vairāk putekļaino daļiņu, jo vairāk saistvielas nepieciešams, lai pārklātu to virsmu.

Piemēram – DĀR atļauts pielietot 3,5-5% bitumena emulsijas atkarībā no putekļaino daļiņu apjoma maisījumā (skat. att. zemāk) [39].

Piezīme: tabulā dots atlikušā bitumena apjoms. Lai iegūtu emulsijas apjomu, tas jāizdala ar bitumena sastāvu emulsijā – parasti 0,6).

Table 4.12 Guidelines for Estimating Nominal Bitumen Addition

Fraction Passing 0.075 mm Sieve (%)	Bitumen Addition (% by mass of dry aggregate) Fraction Passing 4.75 mm Sieve		Typical Material Types
	< 50%	>50%	
< 4	2.0	2.0	Recycled asphalt (RA)
4 – 7	2.2	2.4	Recycled asphalt Graded crushed stone Natural gravel Blends
7 – 10	2.4	2.8	
> 10	2.6	3.0	Gravels Sands

4-6.3. attēls. Pievienojamais bitumena saistvielas apjoms atkarībā no putekļaino daļiņu apjoma [39]

Tā kā nevienā no CS2019 dotajām granulometrijas līknēm pildvielas putekļaino daļiņu saturs nedrīkst pārsniegt 18%, nav identificējams, kādēļ atļauts tik liels bitumena emulsijas apjoms. Apskatītajā ārvalstu praksē šādi piemēri nav atrasti.

Rekomendācija:

- ✓ Samazināt maksimāli pieļaujamo bitumena emulsijas apjoma prasību līdz 5%.

∇ Latvijā ar CS2019 nav iekļauta ar bitumenu saistīto materiālu stiprības testēšana, izmantojot ITS pārbaudes.

Ārvalstīs ITS pārbaudes ir primārais CBTM un BSM materiālu testēšanas veids. Netiešā stiepes stiprība daudz precīzāk par UCS testiem raksturo ar bitumenu saistīto materiālu viskozi-elastīgās īpašības. Tā testē šo materiālu darbību uz sabrukšanu stiepē, ko UCS testi nevar. Tādēļ ITS metode ir uzskatāma par piemērotāku.

Piemēram – Igaunijā (atbilstoši EVS EN 13286-42 vai EVS EN 12697-23) ITS prasības BSM ir: ≥0,15 MPa pēc 7 dienām un ≥0,25 MPa pēc 28 dienām [41].

Zemāk dotas Dienvidāfrikas Republikā izmantotās BSMITS minimālās robežvērtības. Analogas prasības ir arī ražotājam GbmH Wirtgen. BSM1 maisījumi izmantojami stipri noslogotiem autoceļiem, BSM2 – visiem pārējiem.

Class	ITS Limits	
	ITS_{DRY} (kPa)	ITS_{WET} (kPa)
BSM1	> 225	> 125
BSM2	> 175	> 100

4-6.4. attēls. ITS minimālās normatīvās prasības DĀR [39]

Arī Latvijā pašlaik izstrādes stadijā esošo CS darba versijā maz un vidēji noslogotiem ceļiem paredzēts piemērot analogas ITS prasības (skat. att. zemāk).

Draft specifications for recycling with bitumen emulsion or foamed bitumen

Property	Testing method	Requirement
Sample compaction by Modified Proctor	LVS EN 13286-2	-
Indirect bearing index, if D < 16 mm	LVS EN 13286-47	≥ 40 %
Sample preparation temperature 20±5 °C	LVS EN 13286-50	-
Porous content, volume %	LVS EN 12697-5 LVS EN 12697-8	5,0 – 20,0
Minimum indirect tensile strength of dry specimens tested at 25±2 °C (ITS_{dry}): - when $AADT_{lane,trucks}$ ≤ 500 - when $AADT_{lane,trucks}$ 500-2000 - when $AADT_{lane,trucks}$ > 2000	LVS EN 12697-23	 175 kPa 225 kPa 350 kPa
Minimum indirect tensile strength of water - impregnated specimens tested at 25±2 °C (ITS_{wet}): - when $AADT_{lane,trucks}$ ≤ 500 - when $AADT_{lane,trucks}$ 500-2000 - when $AADT_{lane,trucks}$ > 2000	LVS EN 12697-23	 100 kPa 125 kPa 200 kPa

4-6.5. attēls. ITS prasības CS darba versijā [50]

Rekomendācija:

- ✓ CS aktuālajā redakcijā iekļaut ITS pārbaužu prasības ar bitumenu saistītajiem materiāliem.

∇ Atbilstoši CS2019 (p.6.4.4.1) atgūtajam reciklētajam asfaltam jātestē tikai granulometriskais sastāvs, citu īpašību testēšana nav obligāti jāveic.

Pasaules prakse liecina, ka ļoti noderīgi atgūtajam asfaltam (turpmāk tekstā – RA) veikt arī bitumena penetrācijas testu. Parasti RAP sastāvā ir 4,5-6% bitumena saistvielas ar zemu penetrāciju un augstu viskozitāti. 25^{0}C temperatūrā tā parasti ir robežās no 10 līdz 80 x 0,1 mm [43].

Atkarībā no bitumena viskozitātes, RAP ir ļoti atšķirīgas īpašības. RAP ar ļoti viskozu bitumenu (P<10 x 0,1 mm) ir grūti iestrādājams [39], bet RAP ar bitumena viskozitāti P>20 X 0,1 mm var izmantot jauna karstā asfalta ražošanā [33].

Rekomendācija:

- ✓ Izvērtēt iespēju paredzēt kontrolurbumos iegūtiem esoša seguma paraugiem informatīvi laboratorijā veikt bitumena penetrācijas testu (penetrācija +25^{0}C temperatūrā, kas testēta pēc EN 1426). Ja no esošā asfaltbetona atgūtā bitumena penetrācija:
  - >20x0,1 mm, tad reciklēto asfaltu atbilstoši CS2019 (p.6.2.4) atļauts izmantot jaunā karstā asfalta seguma būvniecībā;
  - >10x0,1 mm, tad reciklēto asfaltu līdz 50% no masas kā pildvielu atļauts izmantot reciklētās pamata kārtas izbūvē (analogi CS2019 tab. 6.2-12 prasībām).

∇ ICP.CS nav dotas CTM un CBTM materiālu deformācijas moduļa aprēķina vērtības elastīgās ielieces un bīdes pārbaudēs.

ICP.CS pilnveide neietilpst šīs izpētes tvērumā, taču reciklēto materiālu nestspēju raksturojošās vērtības ir nepieciešamas, lai modelētu to darbību segas konstrukcijā LVC ICP.CS aprēķina sistēmā.

Pašlaik ICP.CS metodikā reciklētajiem materiāliem (atkarībā no $AADT_{j,kravas}$) dotas divas deformācijas moduļa vērtības – 400 MPa (ja $AADT_{j,kravas}$<500) un 550 MPa (ja $AADT_{j,kravas}$<500). ICP.CS nav definēts izmantojamās saistvielas tips. Nav precīzi zināms, kā noteiktas šādas vērtības, jo, piemēram, CBGM maisījumam dota daudz augstāka deformācijās moduļa vērība – 900 MPa.

Lai aprakstītu CTM un CBTM darbību ceļa segā, Vadlīniju vajadzībām ICP.CS sistēmā definēti jauni šo materiālu elastības moduļi, kas balstīti uz AASHTO E-M metodikā dotajiem ceļa segas kārtu relatīvajiem nestspējas kritērijiem.

Deformācijas moduļu vērtības (turpmāk tekstā – E) Vadlīniju vajadzībām aprēķinātas, balstoties uz AASHTO E-M segas aprēķina metodē segas strukturālā skaitļa (SN) aprēķinā izmantotajiem materiālu koeficentiem [34]. Šie koeficenti doti visām nesaistītājām segas kārtām – gan tām, kuru E vērtības dotas ICP.CS, gan tām – kuru E tur nav. Trūkstošās E vērtības noteiktas, interpolējot datus no esošajām vērtībām. Kopsavilkumu skatīt tabulā zemāk – iegūtās E vērtības iezīmētas zaļā krāsā.

4-6.9. tabula. Nesaistīto segas materiālu deformācijas moduļu vērtības

Materiāls	AASHTO Kārtas koeficients C_L[34]	ICP.CS Deformācijas modulis E, MPa [44]	
		Elastīgajā ieliecē	Bīdē nesaistītājās kārtās
Frakcionētas šķembas (GCS)	0,14	400	400
CTM	0,17	485	485
CBTM	0,26	610	610

AASHTO E-M metodikā dotie BSM/CBTM kārtu deformācijas moduļi sniegti zemāk. Vadlīniju vajadzībām noteiktie moduļi atbilst CBTM maisījumiem ar grants un šķembu pildvielu.

Resilient Moduli ranges for BSMs		
Material type	Bitumen Content of BSM (%)	Resilient Modulus MR(MPa)
100% RAP	1.6 to 2.0	1,000 to 2,000
RAP/crushed stone (50:50 blend)	1.8 to 2.5	800 to 1,500
Graded crushed stone	2.0 to 3.0	600 to 1,200
Natural gravel (PI < 10, CBR>45)	2.2 to 3.5	400 to 800
Natural gravel (PI < 10, CBR>25)	2.5 to 4.0	300 to 600

4-6.6. attēls. CBTM/BSM kārtu raksturlielumi atbilstoši AASHTO E-M metodikai [34]

Arī DĀR izmantotajā nestingās ceļa segas E-M aprēķina metodikā [39] CBTM/BSM kārtai izmantotās E vērtības atkarībā no bitumena saistvielas ir tuvas Vadlīnijās noteiktajām – 600-700 MPa (skat. att. zemāk). DĀR pielietotās vērtības iegūtas, pamatojoties uz BSM kārtu ekspluatācijas pieredzi.

Table 5.1 PN Method Input Values for BSMs

Material Class	BSM1	BSM2
General Material Description	High strength bitumen stabilised material, normally using crushed stone or reclaimed asphalt (RA) source material	Medium strength bitumen stabilised material, normally using natural gravel or RA source material
Modular Ratio Limit	3.0	2.5
Maximum Allowed Stiffness (MPa)	700	600
Base Confidence Factor	1.0	0.7
Thickness limit	100 mm to 300 mm	

4-6.7. attēls. CBTM/BSM kārtu raksturlielumi DĀR [39]

Rekomendācijas:

- ✓ Veikt papildus pētījumus ar mērķi precizēt CBTM un CTM materiālu projektēšanā izmantojamās deformācijas moduļa E vērtības;
- ✓ ICP.CS aktuālajā redakcijā iekļaut CBTM un CTM kārtu deformācijas moduļa E vērtības elastīgās ielieces un nesaistīto materiālu kārtu bīdes pārbaudēs. Vadlīniju vajadzībām kā darba versija izteiktas sekojošas vērtības:
  - CBTM – 610 MPa;
  - CTM – 485 MPa.

Literatūras saraksts

1. Crovetti J., (2005). Development of Rational Overlay Design Procedures for Flexible Pavements. https://minds.wisconsin.edu/handle/1793/53879
2. Mahoney J.P., Jackson N. C., O`Neil D.J.,(1991). Evaluation of Granular Overlays in Washington State. https://www.wsdot.wa.gov/research/reports/fullreports/226.1.pdf
3. Florida Department of Transportation (2020). Flexible Pavement Design Manual. https://fdotwww.blob.core.windows.net/sitefinity/docs/default-source/roadway/pm/publications/2020-fpdm-final.pdf?sfvrsn=a2c67986_6
4. Lu P., Tolliver D., Bratlien D. (2014). North Dakota Implementation of Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide (MEPDG). https://www.researchgate.net/publication/327704651
5. CALTRANS. California Department of Transportation (revised 2020). Highway Design Manual, Section 630. https://dot.ca.gov/programs/design/manual-highway-design-manual-hdm
6. Arizona Department of Transportation (2017). Pavement Design Manual. https://apps.azdot.gov/files/materials-manuals/Preliminary-Engineering-Design/PavementDesignManual.pdf
7. Montana Department of Transportation (2015). Pavement Design Manual. https://www.mdt.mt.gov/publications/docs/manuals/pavementdesignmanual.pdf
8. Reis N., Bold T. (2015). NDDOT Implementation of AASHTO Flexible Pavement Design. https://www.ndltap.org/events/asphalt/downloads/2015_flexible_pavement_design.pdf
9. Colorado Department of Transportation (2021). M-E Pavement Design Manual. https://www.codot.gov/business/designsupport/materials-and-geotechnical/manuals/2021-m-e-pave-design-manual

American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), (2008). Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide (MEPDG).https://fenix.tecnico.ulisboa.pt › AASHTO08

11. Asphalt Paving Association of Iowa. Asphalt Pavement Design Guide. https://www.apai.net/Departments/Asphalt/Pavement-Design/Asphalt-Design-Guide.aspx
12. Texas Department of Transportation (revised 2021). Pavement Manual. http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/pdm/pdm.pdf

13. Indian Institute of Technology Bombay. Design of Overlay for Flexible Pavement. https://www.civil.iitb.ac.in/~kvkrao/uploads/5/9/3/7/59372049/ce742lec_21.pdf
14. Gawn M. Pavement Overlay Design. https://www.douglaspartners.com.au/assets/research/Pavement-Overlay-Design.pdf
15. SIA „Inženierbūve" (2014). Pētījums par Rīgas pilsētas ielu seguma atjaunošanas vidēja termiņa programmas izstrādi un realizāciju.
16. Šlīslers A., Buls A. (2004). ANO. Ceļu tīkla pārvaldīšana https://lvceli.lv/par-lvc/celu-tikla-parvaldisana/
17. http://www.fhwa.dot.gov/pavement/preservation/ppc0621.cfm
18. http://lvceli.lv/lat/valsts_celu_tikls/celu_nozares_vesture/
19. https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/asphalt-overlay
20. Schattler K. (2011). Report number: FHWA-ICT-11-094. Implementing Pavement Management Systems for Local Agencies. https://www.researchgate.net/publication/322644490
21. Kirbas U., Karasahin M. (2017). Estimating PCI Using Vibration Data for Asphalt Concrete Pavements. https://www.researchgate.net/publication/326186451
22. Road Management Office (v2.0, 2019). Machine Road Condition Survey Specification for Regional and Local Roads. https://www.laquotes.ie/docs/RMO/RMO-Specification.pdf
23. Transport Infrastructure Ireland (2008). Guidelines for the use of the Falling Weight Deflectometer in Ireland. http://www.tiipublications.ie/library/CC-GSW-04008-01.pdf
24. Department of Transport, Tourism and Sport (2013). Rural Flexible Roads Manual.http://www.rmo.ie/uploads/8/2/1/0/821068/psci_manual_rural_flexibleroads_04112013_lowres.pdf
25. Transport Infrastructure Ireland (2016). Pavement Assessment, Repair and Renewal Principles. https://www.tiipublications.ie/library/AM-PAV-06050-02.pdf
26. IUST (2011). Comparison of Mechanistic-Empirical and Empirical Flexible Pavement Design Procedures of AASHTO: A Case Study. https://www.researchgate.net/publication/281446870
27. Michigan Department of Transportation (2013). Preparation for Implementation of the Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide in Michigan. Part 2: Evaluation of Rehabilitation Fixes. https://www.researchgate.net/publication/290997649
28. Horak E. (2014). Benchmarking the structural condition of flexible pavements with deflection bowl parameters. https://www.researchgate.net/publication/228663228

29. VAS „Latvijas Valsts ceļi" (2020). Informācija stratēģiskās plānošanas vajadzībām. https://lvceli.lv/celu-tikls/tehniskie-noteikumi-metodiskie-noradijumi/metodiskie-noradijumi/
30. https://austroads.com.au/publications/pavement/agpt04k/operating-environment/the-managerial-environment/pfavement-management-systems-pms
31. https://global.ihs.com/standards.cfm?publisher=AASHTO
32. https://en.wikipedia.org/wiki/ASTM_International
33. VAS „Latvijas Valsts ceļi" (2019). Ceļu Specifikācijas 2019.
34. Wirtgen GmbH (2014). Cold Recycling Technology – 1st edition.
35. Wirtgen GmbH (2004). Cold Recycling Manual – 2nd edition.
36. https://www.wirtgen-group.com/en-lv/products/wirtgen/technologies/recycling-and-soil-stabilisation/cr-series/
37. SIA „Projekts 3" (2018). Ieteikumi ceļu projektēšanai. Ceļa sega. Pielikums – Pastiprināšana.
38. https://www.cement.org/cement-concrete/cement-concrete-applications/cement-based-pavements/cement-treated-base-(ctb)
39. Southern African Bitumen Association (SABITA) (2020). Technical Guideline: Bitumen Stabilised Materials
40. Raschia S. (2020). Cement-Bitumen Treated Materials (CBTM) for Cold Regions: RAP Aggregate Source and Low Production Temperatures. https://espace.etsmtl.ca/id/eprint/2592/1/RASCHIA_Simone.pdf
41. Sillammae S. (2021). Stabilized layers for road bases, Estonian research.
42. Strategic Highway Research Program (1993). SHRP Procedure for Temperature Correction of Maximum Deflections (Report No. SHRP-P-654.). http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/shrp/SHRP-P-654.pdf
43. Federal Highway Administration Research and Technology (2016). Publication Number: FHWA-RD-97-148.Reclaimed Asphalt Pavement. https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/structures/97148/rap131.cfm
44. Krūmiņš E. (2020). Ieteikumi ceļu projektēšanai. Ceļa sega.
45. Latvijas valsts standarts. LVS EN 15381:2019. Ģeotekstilmateriāli un tiem radniecīgi izstrādājumi. Nepieciešamais raksturojums to lietošanai ceļa un asfalta segām.
46. Forschungsgesellschaft für Straßen – und Verkehrswesen (FGSV), Arbeitsgruppe „Asphaltbauweisen". (2013). Arbeitspapier für die Verwendung von Vliesstoffen, Gittern und Verbundstoffen im Asphaltstraßenbau. https://www.fgsv-verlag.de/pub/media/pdf/770.i.pdf
47. https://www.ivgeokunststoffe.de/dokumente/Leitfaden-fr-die-Bauweise-mit-Asphalteinlagen_neu.pdf
48. https://kongresdrogowy.pl/files/upload/MIK2019_021_Tensar_PMazurowski.pdf
49. https://www.beco-bermueller.de/site/assets/files/5738/bb_brochure_bebit_asphalt_reinforcement_grids.pdf
50. SIA "Ceļu eksperts" (2021). Cold recycling with bitumen. Study 2020/2021.
51. Gražulytė J. Vilnius Gediminas Technical University (2017). Evaluation of the performance of cold recycled asphalt pavements and recommendations for further usage.

52. https://www.eota.eu/handlers/download.ashx?filename=technical-reports%2feota-tr041-hexagonal-geogrids-2017.pdf
53. Vaitkus A., Gražulytė J. (2021). Comparison of the Bearing Capacity of Pavement Structures with Unbound and Cold Central-Plant Recycled Base Courses Based on FWD Data. https://www.mdpi.com/2071-1050/13/11/6310
54. Transport Infrastructure Ireland (2017). Bituminous Mixtures, Surface Treatments, and Miscellaneous Products and Processes. https://www.tiipublications.ie/library/DN-PAV-03024-03.pdf
55. https://www.apwa.net/MYAPWA/About/MyApwa/Apwa_Public/About_APWA.aspx?hkey=46586c94-7471-4125-8df8-5763bac6b42b
56. Road Surface Treatment Association (2018). Code Of Practice For Geosynthetics And Steel Mesh For Asphalt Reinforcement (Interlays). https://www.rsta-uk.org/document-gallery#
57. Zawadzki J., Sybilski D., Skierczynski P., Jablonski K. (2004). Zalecenia stosowania wyrobow w warstwach asfattowych nawierzchini drogowych.
58. Jaskula P., Rys D., Stienss M., Szydlowski C., Golos M., Kawalec J. (2021). Fatigue Performance of Double-Layered Asphalt Concrete Beams Reinforced with New Type of Geocomposites. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8123130/
59. Jaskula, P. Sczepnosc Warstw Asfaltowych w Wielowarstwowych Układach Nawierzchni Drogowych; Wydawnictwo Politechniki Gdanskiej: Gdansk, Poland, 2018
60. Brusa N., Crowther D., Pezzano P (2016). Asphalt reinforcement through geosyntetics: design method and UK experience https://www.maccaferri.com/uk/wp-content/uploads/2016/03/15.45-Nicola-Brusa-Paper.pdf
61. Adfors Saint-Gobain (2019), GlasGrid for asphalt overlays
62. https://www.google.com/maps/@56.9364038,24.089622,14z
63. Saathoff F., Cantre S. (2013). Universität Rostock, Expert opinion on the Millability and Recyclability of the products Tensar AR-G and AR1
64. Gundert L., Geol. A. (2015). Summary of the test report on the millability and reusability of the product Tensar AR-Gn from the evaluation the millability and

recyclability of various asphalt reinforcement layers as well as of the bond between the reinforcement layer and the asphalt surface.

Pielikumi

Pielikums 1 – Ceļa segas tipveida konstrukciju kontrolaprēķini